# PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

No. 14. 15. April 1902. 3. Jahrgang.

Redaktionsschluss für No. 15 am 23. April 1902.

INHALT.

**Originalmitteilungen:**
J. Elster und H. Geitel, Beschreibung des Verfahrens zur Gewinnung vorübergehend radioaktiver Stoffe aus der atmosphärischen Luft. S. 305.
A. Righi, Nochmals über die Frage des durch die elektrische Konvektion erzeugten Magnetfeldes. S. 310.
**Vorträge und Diskussionen von der 73. Naturforscherversammlung zu Hamburg:**
W. Ostwald, Über Katalyse. S. 313.
**Zusammenfassende Bearbeitungen:**
H. Meldau, Der Schiffskompass. S. 323.
**Besprechungen:**
H. W. Bakhuis Roozeboom, Die heterogenen Gleichgewichte vom Standpunkte der Phasenlehre. S. 326.
F. Kohlrausch, Lehrbuch der praktischen Physik. S. 326.
K. Koppe, Anfangsgründe der Physik. S. 327.
The British Optical Journal. S. 327.
**Eingegangene Schriften.** S. 328.
**Personalien.** S. 328.
**Gesuche.** S. 328.

## ORIGINALMITTEILUNGEN.

### Beschreibung des Verfahrens zur Gewinnung vorübergehend radioaktiver Stoffe aus der atmosphärischen Luft.

Von J. Elster und H. Geitel.

Die folgende Mitteilung hat den Zweck, das Verfahren möglichst genau zu beschreiben, durch das vorübergehend radioaktive Oberflächenschichten auf beliebigen der Luft ausgesetzten Leitern hergestellt werden können.

Man bedarf bei diesen Versuchen zunächst eines Körpers, dem die induzierte Aktivität mitgeteilt werden soll und der an gut isolierenden Stützen befestigt sein muss, ferner einer Elektrizitätsquelle, die ihn, auch bei beträchtlichem Leitungsverluste an die Luft, andauernd auf negativem Potential von einigen Tausend Volt erhält und schliesslich zur Prüfung seines aktiven Zustandes eines Apparats zur Bestimmung der durch ihn bewirkten Ionisierung einer begrenzten Luftmenge, oder einer photographischen Anordnung zum Nachweis der von ihm ausgesandten Becquerelstrahlen.

Die zweckmässigste Form des zu aktivierenden Leiters ist die des Drahtes oder Fadens, da die elektrische Dichtigkeit auf seiner Oberfläche alsdann schon bei niedrigem Potentialniveau verhältnismässig hoch ist. Hierzu kommt der weitere Vorteil, dass Drähte sowohl im Freien wie in geschlossenen Räumen leicht so ausgespannt werden können, dass der verfügbare Raum nach Möglichkeit ausgenutzt, d. h. von möglichst vielen, von den Drähten ausgehenden Kraftlinien erfüllt wird. Schliesslich lässt sich in gleicher Weise, wie E. Rutherford bei der durch Thorium induzierten Strahlung gefunden hat, die aktive Oberflächenschicht eines Drahtes durch einfaches Abreiben auf andere Stoffe, wie Leder, Watte u. dergl. übertragen und dadurch in konzentrierter Form zu bestimmten — besonders photographischen — Versuchen geeignet machen.

Die chemische Natur des Drahtes ist, solange man die Aktivität an ihm selbst untersuchen will, wie es scheint, von keinem bestimmenden Einflusse, wenigstens haben wir bei zwei so verschiedenen Materialien, wie Blei und Aluminium, bei Anwendung gleichlanger Drähte und gleicher Ladungsbedingungen keinen Unterschied in der Aktivierung erhalten. Will man dagegen die an der Oberfläche gebildete Masse durch Abreiben sammeln, so ist solches Material vorzuziehen, das durch mechanische oder bestimmte chemische Mittel leicht angegriffen wird. So benutzten wir vielfach Kupferdrähte, deren wirksame Oberflächenschicht fast vollständig an einen mit Salzsäure oder Ammoniakflüssigkeit getränkten Lederlappen abgegeben wird. Lästig bei diesem Verfahren war die Notwendigkeit, die Salzsäure oder das Ammoniak vor der Anstellung der eigentlichen Versuche durch Hitze zu verjagen, wir haben deshalb in letzter Zeit Aluminiumdraht vorgezogen, der unter kräftigem Drucke mit trocknem, glattem Leder gerieben, seine äusserste Schicht in Gestalt graphitglänzender Striche auf diesem zurücklässt. (Wir hatten indessen noch keine Gelegenheit, uns zu vergewissern, ob nicht in hellem Sonnenscheine die an Aluminium sehr bedeutende photoelektrische Entladung den Aktivierungsprozess beeinflusst.)

Je länger der Draht genommen wird, um so leichter ist im allgemeinen der Nachweis der von ihm erworbenen Aktivität; in schlecht leitender Luft, also an Nebeltagen im Freien und im Bereiche grosser Städte, wo nur eine geringe Aktivierung zu erwarten ist, verwendet man daher zweckmässig grosse Längen (bis etwa 60 m); ist die Luft rein oder macht man die Versuche in weiten Kellern oder in Höhlen, in denen die Elektrizitätszerstreuung, d. h. die Anzahl der pro Zeit und Volumeinheit entstehenden Ionen abnorm hoch ist, so wird man mit Drahtlängen von etwa 10 m ausreichen. Die Dicke des Drahtes wählt man zwischen 0,3 bis 0,5 mm, so dass er einerseits auch in grossen Längen leicht aufzuwickeln, andrerseits widerstandsfähig genug ist, um bei dem Abreiben nicht zu zerreissen.

Da die Aktivierung des Drahtes von dem durch die Leitfähigkeit der Luft bewirkten Ladungsverluste abhängt und dieser im Freien und in grossen Räumen bis zu einem gewissen Grade mit der Dichtigkeit der Ladung wächst, so ist, um diese unter den gegebenen Verhältnissen möglichst hoch treiben zu können, eine gute Beschaffenheit der isolierenden Stützen erforderlich.

Bei Versuchen im Sommer bei trockenem Wetter und am Tage hat man keine Schwierigkeit, es genügen als Isoliervorrichtungen kleine an den entgegengesetzten Enden von Siegellackstückchen eingeschmolzene Metallhaken, die durch etwa 4 cm Siegellack voneinander getrennt sind. Der eine Haken dient zur Befestigung an Stangen, Mauern etc., der andere zum Einhängen des zu isolierenden Drahtes. Will man diesen dagegen auch zur Nachtzeit oder bei regnerischem Wetter geladen erhalten oder ihn gar in Höhlen und Kellerräumen exponieren, so versagen die Siegellackisolatoren sehr bald.

Für diesen Zweck konstruierten wir daher Isolierhaken mit Natriumtrocknung, deren Einrichtung aus der Figur 1 hervorgeht. *AB* ist

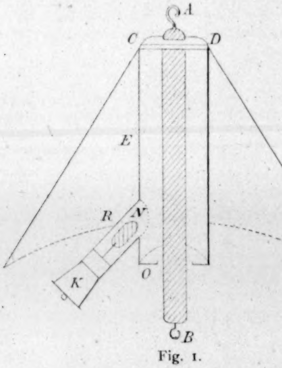

Fig. 1.

ein mit Schellackfirnis bestrichenes Ebonitstäbchen, das durch die kreisförmige Metallplatte *CD* geführt ist. Diese wird durch ein Schraubengewinde auf dem Metallcylinder *E* befestigt, aus dessen unterer verengter Öffnung *O* das Ebonitstäbchen frei hervorragt. Bei *A* wie *B* sind Haken eingelassen; der erstere dient zum Anhängen an geeignete Gegenstände, der zweite trägt den zu isolierenden Draht. *R* ist ein Seitenrohr, verschliessbar durch den Gummistopfen *K* mit eingesteckter Nadel *N*. Beim Gebrauche wird bei *N* ein kleines Stückchen metallischen Natriums aufgespiesst und in das Seitenrohr eingeführt. Dadurch wird auch bei hoher Luftfeuchtigkeit der Cylinder im Inneren so ausgetrocknet, dass das Ebonit seine Isolationsfähigkeit behält. Ein an die Platte *CD* angesetzter, nach unten kegelförmig sich erweiternder Mantel aus Metallblech schützt das Ganze vor fallenden Tropfen und herabsickernder Feuchtigkeit.

Das Natrium darf nicht länger als 24 bis höchstens 48 Stunden in dem Seitentubus belassen werden, ohne dass die entstandene Masse von Ätznatron beseitigt wird. Man zieht, wenn der Versuch noch fortgesetzt werden soll, den Gummistopfen mit dem Natriumstückchen heraus, wischt mit etwas Fliesspapier die im Tubus angesammelte Lauge heraus, reibt das Natrium mit demselben Papier ab und setzt es mittels des Stopfens wieder in seine alte Lage ein. Auf keinen Fall darf das Natrium nach Beendigung des Versuches in dem Isolator verbleiben, die entstehende Natronlauge würde zu dem Ebonit dringen und die Isolation seiner Oberfläche zerstören. Mit Hilfe der beschriebenen Vorrichtung lässt sich auch unter den ungünstigsten Umständen der Elektrizitätsverlust durch die Stützen so klein machen, dass er mit dem durch die Luft bewirkten vergleichbar

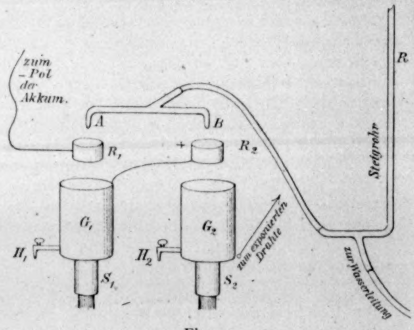

Fig. 2.

bleibt. — Indessen erfordert in der wärmeren Jahreszeit die Thätigkeit der Spinnen einige Aufmerksamkeit, die von dem isolierten Drahte Fäden nach benachbarten Leitern ziehen. Im Sonnenschein schaden diese Fäden nicht viel, des Nachts und bei trübem Wetter werden sie dagegen merklich leitend. Man kann sich nur durch sorgfältiges Überwachen des Drahtes und wiederholtes Absengen mittels einer Alkoholflamme dagegen schützen.

Als sehr bequeme Elektrizitätsquelle verwandten wir in vielen Fällen eine Art von Wasserinfluenzmaschine, bestehend aus einer Kombination zweier Thomsonscher Waterdropper[1]) (Fig. 2). Von der Wasserleitung führt ein Schlauch

1) Vor längerer Zeit von uns beschrieben. Wied. Ann. **25**, 114, 1885.

zu einem $T$-Rohr, dessen einer Schenkel mit dem Steigerohr $R$ in Verbindung steht, während der andere in ein zweites $T$-Rohr mit den feinen Ausflussöffnungen $A$ und $B$ endigt. Die bei $A$ und $B$ austretenden Strahlen passieren die beiden Metallringe $R_1$ und $R_2$, innerhalb deren sie sich in Tropfen auflösen, und fallen in die darunter stehenden isolierten Gefässe $G_1$ und $G_2$. Der Ring $R_1$ wird durch eine Trockensäule auf negativem Potential gehalten (20—30 Volt sind genügend), $R_2$ ist metallisch mit $G_1$ verbunden. In leicht verständlicher Weise wird durch den Tropfenfall $G_1$ positiv, $G_2$ daher negativ geladen und zwar mit stetig wachsender Dichtigkeit, bis durch elektrostatische Abstossung die fallenden Tropfen von den Auffangegefässen soweit abgelenkt werden, dass sie nicht mehr hineingelangen. Dann ist der Grenzwert der Ladung erreicht und man kann dem Gefässe $G_2$ in kleinen Pausen Funken von 2—3 mm Länge entziehen. Wir stellen nun die leitende Verbindung dieses Gefässes mit dem zu aktivierenden isoliert ausgespannten Drahte her. Um das schliessliche Überfliessen der Gefässe $G_1$ und $G_2$ zu vermeiden, lässt man die beiden Ablasshähne $H_1$ und $H_2$ dauernd offen; von Zeit zu Zeit entleert sich aus ihnen die angesammelte Wasser-

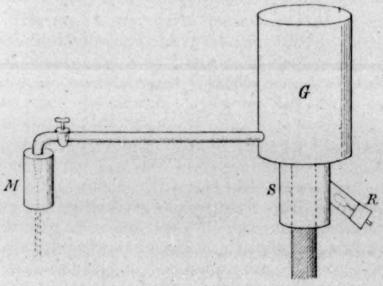

Fig. 3.

menge in eine tief darunter gesetzte Abflussrinne. Zweckmässig umgiebt man die Hahnöffnungen mit einer cylindrischen Metallhülle $M$ so, dass die Auflösung des ausfliessenden Strahles in Tropfen im Innern dieser Hülle stattfindet, freie Elektrizität also durch die fallenden Tropfen nicht mitgeführt werden kann (Fig. 3). Diese Influenzmaschine hat den Vorteil, dass sie ohne Wartung beliebige lange Zeit im Betriebe gehalten werden kann; selbst eine plötzliche Zunahme des Wasserdrucks wird durch das Steigerohr unschädlich gemacht, aus dem das Wasser alsdann in die Abflussrinne hinabfällt. Bei längerem Gebrauch und hoher Luftfeuchtigkeit leidet indessen leicht die Isolation der Stützen, von denen die Gefässe $G_1$ und $G_2$ getragen werden; auch hier kann durch Anbringen eines Seitentubus zum Einführen von Natrium an die die Ebonitträger umgebenden Schutzröhren $S$ in der in Fig. 3 dargestellten Weise Abhilfe geschafft werden.

Mit gleichem Erfolge, wie diese Wasserinfluenzmaschine, lässt sich auch ein kleines Induktorium von etwa 2—3 cm Funkenlänge mit sicherfunktionierendem Unterbrecher verwenden. Man leitet den positiven Pol (für den Öffnungsstrom) zur Erde ab und verbindet durch einen Draht den negativen mit der isoliert aufgestellten Metallplatte $P$ (Fig. 4). An der Kugel $K$ einer

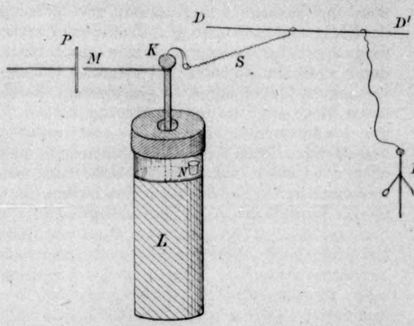

Fig. 4.

Leydnerflasche $L$ von solcher Kapazität, dass sie die Schlagweite des Induktoriums auf etwa 4 mm herabsetzen würde, befestigt man eine feine metallische Spitze $M$, die der Platte $P$ bis auf einige Millimeter gegenübergestellt wird. Zwischen Spitze und Platte treten während der Thätigkeit des Induktoriums Büschel und Funken auf, durch die die Flasche sich ladet. Ein Halbleiter $S$ (feuchte Schnur) stellt die Verbindung der Flasche mit dem zu exponierenden Drahte $DD_1$ her, dessen Potential mittels eines Elektroskops $E$ kontrolliert wird. Letzteres ist entweder nach dem Braunschen Prinzip gebaut und für einen Messbereich von 1000—5000 Volt eingerichtet oder die Form ist die von Exner angegebene, und die aus dickerer Aluminiumfolie geschnittenen Blättchen sind, wie in der Figur angedeutet, mit Korkscheibchen beschwert, um die Empfindlichkeit herabzusetzen. Die Stromstärke des das Induktorium erregenden Primärstromes ist so zu regulieren, dass der Ausschlag des Elektroskops eine willkürlich gewählte Grösse (etwa 4000—5000 Volt entsprechend) konstant beibehält.

Die Isolation der Flasche $L$ wird durch folgende Einrichtung vollkommen erhalten. Der obere Rand ist durch einen Metalldeckel bis auf die centrale Öffnung verschlossen, durch die

der die Kugel $K$ tragende Stab frei (in etwa 1 cm Abstand von der Peripherie der Öffnung) hindurchgeht. Der so gebildete Innenraum wird durch Natrium trocken gehalten. Ein kleines Becherglas $N$ ist in seiner halben Höhe durch ein Stückchen Drahtnetz quergeteilt. Auf dies Netz wird ein etwa wallnussgrosses Stück Natrium gelegt; die von ihm abtropfende Lauge sammelt sich in dem Becherglase und kann von Zeit zu Zeit entfernt werden.

Zum Nachweis des radioaktiven Zustandes eines auf diese Weise 2—3 Stunden lang mit negativer Ladung der Luft ausgesetzt gewesenen Drahtes bedient man sich am einfachsten des von uns konstruierten Apparats zur Messung der Elektrizitätszerstreuung.[1]) Zu diesem Zwecke wird der Schutzcylinder $Z$ (Fig. 5) auch unten durch eine abnehmbare, mit centraler Öffnung versehener Metallplatte $D_2$ geschlossen, durch deren Mitte der Stiel des Zerstreuungskörpers $K$ frei hindurchgeht. In den so entstandenen kesselartigen Raum lässt sich ein oben und unten offener Cylinder von gleicher Höhe aus verzinktem Eisendrahtgeflecht so einschieben, dass er der Innenfläche von $Z$ gut anliegt.

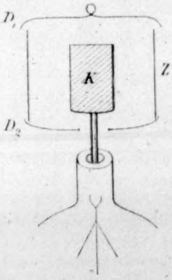


Fig. 5.

Auf diesen Cylinder aus Drahtgeflecht wird nun der exponierte Draht aufgewickelt und ohne Verzug, da die Aktivität schnell vorübergeht, in den Raum $Z$ eingeführt, der alsdann durch den Deckel $D_1$ geschlossen wird. Erteilt man nun dem Cylinder $K$ durch Berührung seines Stiels mit dem Pole einer Trockensäule eine dem Empfindlichkeitsbereiche des Elektroskops angepasste Ladung, so bemerkt man je nach dem Grade der Aktivierung des Drahtes ein mehr oder minder schnelles Zusammenfallen der Blättchen.

Um, besonders bei schwacher Wirkung, den durch die Einführung des Drahtes herbeigeführten Elektrizitätsverlust sicher feststellen zu können, bestimmt man zweckmässig vor dem Versuche die (sehr kleine) Abnahme des Potentials in Volt, die durch die normale Ionisierung der Luft im Zerstreuungsraume in einer gemessenen Zeit bewirkt wird und führt erst dann den exponierten Draht ein. Es ist notwendig, in dieser Reihenfolge zu verfahren, da bei stärkerer Aktivität des Drahtes die Wände des Zerstreuungsraumes selbst eine merkliche sekundäre Strahlung annehmen können, die zwar schnell vorübergeht, aber wenigstens anfangs den Spannungsverlust grösser als den normalen erscheinen lässt.

Da der von der Höhe der Ladung unabhängige Betrag, um den das Potential des Elektroskops infolge der Aktivierung des Drahtes in einer bestimmten Zeit abnimmt, der Länge des Drahtes proportional ist, so dividiert man, um vergleichbare Zahlen zu gewinnen, den etwa in 15′ gemessenen Spannungsabfall durch die Drahtlänge. Ein täglich dieselbe Zeit lang bei gleicher Ladung in freier Luft exponiertes Stück Platindraht von etwa 10 m Länge gab für diese

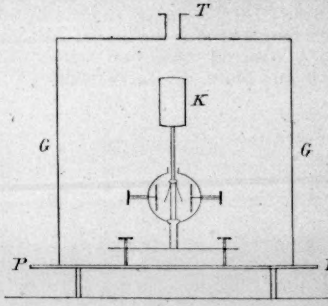


Fig. 6.

Aktivierung der Längeneinheit Zahlen, die von Tag zu Tag sehr erheblich verschieden waren. Wahrscheinlich wird daher die aktivierende Eigenschaft der Luft durch meteorologische, vielleicht auch durch andere noch unbekannte Bedingungen beeinflusst.

In der stagnierenden Luft von Kellern, die sich durch abnorme Leitfähigkeit auszeichnet, scheint die Aktivierung mit eben dieser Leitfähigkeit, die in bekannter Weise am Zerstreuungsapparat bestimmt werden kann, parallel zu laufen. Findet man (unter Anwendung des Schutzcylinders) Zerstreuungen von über 4 Proz. in solchen Räumen, so kann man Aktivierungszahlen (im obigen Maasse gemessen) von über 150 Volt erwarten, während man bei Versuchen im Freien zuweilen weniger als 13 Volt beobachtet.

Wir möchten neben diesen Versuchen an Drähten noch ein gänzlich verschiedenes Verfahren erwähnen, das wir anfangs zur Kontrolle

1) Vgl. diese Zeitschrift **1**, 11, 1899, oder Ann. d. Phys. **2**, 425, 1900 und Terrestrial Magnetism **4**, 213, 1899.

des soeben beschriebenen anwandten. Der Zerstreuungsapparat, ohne Schutzcylinder, wurde, wie es Fig. 6 darstellt, auf eine isolierte Metallplatte *PP* gesetzt, und mit einer Glocke *GG* aus dünnstem Aluminium, die oben bei *T* einen Tubus trägt, überdeckt. Durch den Tubus kann mittels einer eingeführten Sonde dem Zerstreuungskörper *K* eine elektrische Ladung erteilt werden.

Die Glocke stellten wir her, indem wir auf einen aus Drahtnetz gearbeiteten und oben bis auf den Tubus durch gleiches Material geschlossenen Cylinder einmal geschlagene Aluminiumfolie mittels eines Klebstoffes auflegten, so dass ein zwar nicht luftdicht schliessender, aber bis auf kleine Löcher in sich zusammenhängender Belag entstand. Durch eines von zwei einander diametral gegenüberliegenden Glasfensterchen konnte die Skala des Elektroskops abgelesen werden, während durch das andere Licht auf die Blättchen fiel.

Zunächst wurde (bei geschlossenem Tubus) der Spannungsverlust in 15′ bestimmt. Luden wir nun die Aluminiumglocke mehrere Stunden lang negativ bis zu einer Funkenschlagweite von 3—4 mm, so fand sich während dieser Zeit eine allmähliche Zunahme der Zerstreuung im Innern ein, die erst längere Zeit nach Ableitung der Glocke zur Erde wieder verschwand.

Es sendet demnach der auf der Aussenseite sich bildende radioaktive Überzug schon während das elektrische Feld besteht, in dem er erzeugt wird, Becquerelstrahlen nach der Seite des Metalls hin aus, die durch dieses in das Innere der Glocke eindringen.

Die Herstellung photographischer Eindrücke mittels der aus der Luft gewonnenen radioaktiven Substanzen ist wesentlich schwieriger, als der Nachweis ihrer Wirksamkeit am Elektroskop. Es liegt dies einerseits in ihrer vergleichsweise schwachen Strahlung, andererseits in deren rascher Abnahme in der Zeit begründet. So ist es uns nicht gelungen, deutliche Wirkungen allein von den aktivierten Drähten auf der photographischen Platte zu erhalten. Man muss, um solche zu erzielen, die strahlenaussendende Masse, die als äusserst dünne Oberflächenschicht über den Draht verbreitet ist, zuvor auf kleinem Raume konzentrieren. Es geschieht dies, wie oben schon bemerkt, durch Abreiben des Drahtes mit einem Lederlappen. Benetzt man diesen mit einigen Tropfen Ammoniakflüssigkeit, so nimmt er beim Reiben an Kupferdraht eine blauschwarze Färbung von Kupferoxydammoniak an; durch sehr starkes Erhitzen, bis zum Versengen des Leders, verjagt man so schnell als möglich das Ammoniak und die Feuchtigkeit.

Bei Aluminiumdrähten kann man, wie ebenfalls schon gesagt, die Anwendung chemischer Mittel ersparen. Die so präparierten, mit der Oberflächenschicht des aktivierten Metalls bedeckten Lederlappen zeigen nun am Elektroskop eine sehr lebhafte Aktivität, die vollständig mit der des Uranpecherzes, auf gleiche Oberfläche bezogen, vergleichbar ist; sie wirken auch durch opake Schichten hindurch photographisch.

Wir verfuhren zur Herstellung solcher Radiogramme in folgender Weise:

Eine hochempfindliche Schleussnerplatte wird, die Schichtseite nach oben, in lichtdichter Papierumhüllung mit einigen Blättern von Aluminiumfolie überdeckt. Auf die Aluminiumschicht legt man eine Bleiplatte von der Grösse der photographischen, in die eine charakteristische Figur eingelocht ist. Das Ganze wird durch zwei starke Gummibänder fest zusammengehalten.

Nun legt man einen aktivierten Lederlappen mit der Substanz nach unten auf die Löcher der Bleiplatte, und bedeckt ihn selbst auf der Rückseite mit einer ferneren Metallplatte der gleichen Grösse. Diese wird wiederum durch zwei Kautschukbänder mit dem darunter liegenden Paket zusammengehalten.

Da das erste Paar von Bändern die Bleischablone und die Schleussnerplatte in unverrückbarer Lage gegeneinander festhält, so kann man nach etwa 4 Stunden den inzwischen fast unwirksam gewordenen Lederlappen entfernen und durch einen frisch aktivierten ersetzen. Dies Verfahren lässt sich beliebig lange fortsetzen.

War ein Draht von etwa 20 m Länge in freier Luft aktiviert worden, so musste man zur Herstellung einigermassen kontrastreicher Bilder etwa 6—8 mal frisch auflegen, während bei Exposition des Drahtes in einem Keller eine 3- bis 4 malige Erneuerung des Lederlappens ausreichte. Der Draht blieb dabei andauernd geladen, nur während des Abreibens wurde die Influenzmaschine oder der Rhumkorff ausgeschaltet.

Es braucht wohl kaum erwähnt zu werden, dass die Einschiebung der Aluminiumschicht zwischen die aktive Substanz und die photographische Platte allein den Zweck hat, die letztere vor etwaigen direkten chemischen Einwirkungen zu schützen, die vielleicht von der Substanz aus durch das lichtdichte Papier hindurch erfolgen könnten. Verzichtet man auf diese Sicherheitsmassregel, so kann man auch die Bleiplatte entbehren und den aktivierten Lederlappen direkt auf das lichtdichte Papier auflegen, das die Platte umhüllt. Man erhält dann nach einmaligem Auflegen beim Entwickeln ein vollständiges Abbild aller der Streifen, die der Draht beim Abreiben auf dem Leder zurückgelassen hatte.

Es empfiehlt sich, dem Entwickler reichlich Bromkaliumlösung in der üblichen Konzentration 1 : 10 zuzusetzen, da die Platten umsomehr zu Schleierbildung neigen, je länger man das Auflegen frischer Substanz fortgesetzt

hat. Es scheinen also selbst Bleiplatten für diese Strahlengattung nicht durchaus undurchlässig zu sein.

Wolfenbüttel im März 1902.

(Eingegangen 13. März 1902.)

## Nochmals über die Frage des durch die elektrische Konvektion erzeugten Magnetfeldes.[1]

Von A. Righi.

Der Verfasser giebt zunächst einen Überblick über den Gegenstand seines vor der Versammlung der italienischen Physiker gehaltenen Vortrages[2] und erinnert an die Aufforderung, die er darin an die Mathematiker gerichtet hatte, das Problem „des elektromagnetischen Feldes, welches durch eine in gleichförmiger geradliniger Bewegung begriffene Ladung jenseits einer unbegrenzten leitenden Ebene erzeugt wird", zu studieren.

Dieser Spezialfall — so fährt er hierauf fort — bietet die einfachste und voraussichtlich am leichtesten zu lösende Aufgabe dar, und entfernt sich gleichzeitig nicht allzuweit von den thatsächlichen Versuchsbedingungen, so dass die Schlüsse, zu welchen man bei Behandlung desselben gelangen würde, auch wenn sie auf die in Rede stehende Frage nicht unmittelbar anzuwenden sein würden, doch sicherlich zur Klärung derselben beitragen könnten.

Das vorgeschlagene Problem hat nun durch Prof. Levi-Civita eine vollständige Lösung erfahren. Er benützte dazu, nachdem er die Hertzschen Gleichungen für den beabsichtigten Zweck als unzureichend erkannt hatte, die Gleichungen von Helmholtz, die, wie er selbst bereits gezeigt hatte, zu denjenigen von Hertz führen, falls man die Annahme macht, dass die Potentiale (elektrisches und Vektorpotential) sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten. Er erkannte sodann, dass die Ergebnisse dieselben bleiben, wenn man das Problem vermittelst der Maxwellschen Gleichungen angreift.

Mein gelehrter Kollege wird seine interessante analytische Untersuchung, von der er mir schon jetzt freundlichst Mitteilung gemacht hat, ohne Zweifel selbst publizieren[3]; was mich betrifft, so werde ich seine Endresultate mitteilen, um aus denselben die Schlüsse zu ziehen, die mit der in meiner früheren Arbeit erörterten Frage im Zusammenhang stehen.

Eine elektrische Ladung bewege sich gleichförmig in gerader Linie parallel zu einer unbegrenzten Ebene von endlicher Leitfähigkeit; $k$ sei der Widerstand, den ein Quadrat von 1 cm Seite in jener Ebene einem Strom, der dasselbe von einer Seite zur entgegengesetzten passiert, darbietet. Dieser Widerstand $k$, den man als spezifischen Widerstand der Ebene bezeichnen kann und der gleich dem spezifischen Widerstand des die Ebene bildenden Materials, dividiert durch die Dicke derselben, ist, soll zur Vereinfachung der Formeln nicht in Ohm, sondern in einer 30mal grösseren Einheit ausgedrückt werden, so dass $k$ gleich $^1/_{30}$ des in Ohm ausgedrückten Widerstandes von 1 qcm der Ebene ist.

Die Formeln, zu welchen Levi-Civita gelangt und welche selbstverständlich $k$ enthalten, geben für einen beliebigen Punkt und beliebigen Augenblick die drei Komponenten der elektrischen und diejenigen der magnetischen Kraft. Für meinen Zweck werde ich mich auf die Betrachtung desjenigen beschränken, was mit Bezug auf den leitenden Schirm jenseits des Raumes vor sich geht, in dem sich die elektrische Ladung bewegt.

Das allgemeine Ergebnis ist, dass der leitende Schirm das Magnetfeld in der Weise verändert, dass die magnetische Kraft jenseits des Schirmes geringer ist als diejenige, welche bei Abwesenheit des Schirmes daselbst vorhanden sein würde.

Macht man aber die Annahme, dass $k$ bis zu Null abnehme, oder mit anderen Worten, dass $s$, die Leitfähigkeit des Schirmes, immer mehr steige, so sinkt die magnetische Kraft und strebt dem Werte Null zu. Damit ist meine Behauptung bestätigt, dass nur bei unbegrenzter Leitfähigkeit eine leitende Platte als vollkommener Schirm nicht allein mit Bezug auf die elektrische, sondern auch mit Bezug auf die magnetische Kraft (die erstere ist bereits für einigermassen grosse Werte von $k$ merklich gleich Null) gelten könne.

Um zu erkennen, bis zu welchem Grade der zwischen der bewegten Ladung und der zur Messung der magnetischen Kraft bestimmten Nadel befindliche Schirm die Versuche beeinflussen kann, müssen wir einige Zahlenanwendungen machen. Nur ist es in diesem Falle zweckmässig, anstatt zu den allgemeinen Formeln zu greifen, vereinfachte Formeln zu benützen, indem man dem Umstande Rechnung trägt, dass die Geschwindigkeit, mit der sich die Ladung bewegt, auf jeden Fall gering ist im Vergleich mit der Lichtgeschwindigkeit. Das Verhältnis $a$ zwischen der ersteren und der letzteren Geschwindigkeit ist also jedenfalls als eine sehr kleine Grösse zu betrachten und es dürfen deshalb Ausdrücke mit höheren Potenzen von $a$ vernachlässigt werden. Nimmt man z. B. mit Levi-Civita an, dass die Geschwindigkeit

1) Aus den Rendiconti dell'Academia di Bologna. 12. Jan. 1902.

2) Derselbe wird demnächst in dieser Zeitschrift erscheinen.

3) In den Annales de la Faculté des Sciences de Toulouse.

der beweglichen Ladung 300 m betrage, so wird $a = 10^{-6}$.

Auch der leitende Schirm bedarf numerischer Bestimmung. Nehmen wir an, derselbe bestehe aus Kupfer und sei 1 mm dick, so findet sich $k = 0{,}5 \cdot 10^{-6}$, also in dem betrachteten Falle von der Grössenordnung von $a$, was bei der Vereinfachung der Formeln zu berücksichtigen ist. Anstatt nun dieselben mit den von Levi-Civita gebrauchten Zeichen und mit Bezug auf die von ihm benutzten beweglichen Achsen wiederzugeben, werde ich zur Erleichterung des Vergleichs die Zeichen und das Achsensystem anwenden, deren ich mich bei der Untersuchung des von einer gleichförmig in gerader Linie bewegten elektrischen Ladung erzeugten Magnetfeldes an anderer Stelle[1]) bedient habe.

Wir wollen also annehmen, die Ladung $E$ bewege sich mit konstanter Geschwindigkeit $c$ längs einer Geraden, die wir zur $z$-Achse wählen wollen; Koordinatenanfang sei der Punkt, an dem sich die Ladung $E$ zur Zeit $t = 0$ befunden hatte. Die leitende Ebene sei parallel zur $yz$-Ebene und um den Betrag $d$ von derselben entfernt. Endlich seien $xyz$ die Koordinaten eines beliebigen jenseits des leitenden Schirmes gelegenen Punktes (d. h. $x > d$) und es werde zur Abkürzung gesetzt:

$$\omega = z - ct; \qquad h = \frac{2\pi\alpha}{k};$$

$$s = \sqrt{x^2 + y^2 + \omega^2}; \quad \varphi = \frac{1}{s(s\sqrt{1+h^2} + h\omega + x)}.$$

Unter Vernachlässigung von höheren Potenzen von $a$ als der ersten findet man dann, dass die elektrische Kraft ein Potential

$$E \frac{ak}{2\pi} \frac{\omega}{s(s+x)}$$

hat und dass für die magnetische Kraft ebenso ein Potential

$$E a y \varphi$$

besteht.

Man sieht sofort, dass bei der Kleinheit von $a$ und $k$ die elektrische Kraft im Punkte $(xyz)$ als Null gelten darf. Wir schliessen also, dass die Kupferplatte die Aufgabe, den jenseits derselben gelegenen Teil des Raumes gegen elektrische Kräfte zu schützen, wohl erfüllt.

Bezeichnen wir nun mit $\mathfrak{L}\mathfrak{M}\mathfrak{N}$ die Komponenten der zur Zeit $t$ in einem beliebigen Punkt $(xyz)$ vorhandenen magnetischen Kraft, so ergiebt sich durch Ableitung aus dem zweiten der obigen Potentiale:

$$\mathfrak{L} = \frac{Eay\varphi}{s^2}\left[x + \varphi s^2 (s + x\sqrt{1+h^2})\right],$$

$$\mathfrak{M} = -\frac{Ea\varphi}{s^2}\left[x^2 + \omega^2 - \varphi s^2 y^2 \sqrt{1+h^2}\right],$$

$$\mathfrak{N} = \frac{Eay\varphi}{s^2}\left[\omega + \varphi s^2 (ks + \omega\sqrt{1+h^2})\right].$$

Wie vorauszusehen gewesen, bleibt für die Punkte der $xz$-Ebene von diesen drei Komponenten nur die zweite. In der That ist, wenn $y = 0$, $\mathfrak{L} = 0$, $\mathfrak{M} = -Ea\varphi$, $\mathfrak{N} = 0$.

Die magnetische Kraft $\mathfrak{M}$ ändert sich natürlich mit $\omega$, das heisst mit der Änderung der relativen Lage der beweglichen Ladung und des Punktes $(xyz)$, auf welchen sich die Kraft $\mathfrak{M}$ bezieht; wir können uns jedoch darauf beschränken, zu untersuchen, was geschieht, wenn die bewegliche Ladung sich in den kleinsten Abständen von dem Punkte $(xyz)$ befindet, oder mit anderen Worten, wenn $\omega$ sehr klein ist.

In diesem Falle ist angenähert

$$\mathfrak{M} = -Ea \frac{x(1+\sqrt{1+h^2}) - h\omega}{x^2(1+\sqrt{1+h^2})^2}.$$

Man sieht also, dass die magnetische Kraft dem absoluten Betrage nach wächst und ihr negatives Vorzeichen behält (das heisst: im Sinne der negativen $y$-Achse gerichtet ist), während die bewegliche Ladung, welche eben im Begriffe ist, an denjenigen Punkt ihrer Bahn zu gelangen, der vom Punkte $(xyz)$ den kleinsten Abstand hat, sich diesem Punkte nähert, ihn erreicht und dann überschreitet. Wenn die bewegliche Ladung sich an dem bezeichneten Punkte befindet, das heisst wenn $\omega = 0$ ist, so liegt demnach die Intensität der magnetischen Kraft zwischen den Werten, die sie vorher hatte und die sie nachher hat. Von der Wirkung, welche die magnetische Kraft mit den aufeinanderfolgenden Werten ihrer Intensität hervorbringt, können wir uns demnach eine passende Vorstellung machen, indem wir dieselbe für den Fall $\omega = 0$ betrachten. Unter dieser Voraussetzung ist

$$\mathfrak{M} = -Ea \frac{1}{x^2(1+\sqrt{1+h^2})}.$$

Es ist nun zweckmässig, diese magnetische Kraft mit derjenigen zu vergleichen, welche an dem betrachteten Punkte herrschen würde, wenn der leitende Schirm nicht vorhanden wäre. Zu diesem Zwecke können die Formeln (20) meiner oben erwähnten Abhandlung dienen, von welchen die drei letzten ergeben:

$$L = \frac{Ea(1-a^2)y}{s^3}, \quad M = -\frac{Ea(1-a)x}{s^3}, \quad N = 0.$$

$LMN$ bezeichnen die Komponenten der magnetischen Kraft für diesen Fall. Da nun $y = 0$, $\omega = 0$ ist und $a$ als sehr klein angenommen wurde, so reduzieren sich diese Gleichungen auf

1) Mem. dell'Acc. di Bologna, 24. Febr. 1901; N. Cim. Aug. 1901, S. 104.

hat. Es scheinen also selbst Bleiplatten für diese Strahlengattung nicht durchaus undurchlässig zu sein.

Wolfenbüttel im März 1902.

(Eingegangen 13. März 1902.)

## Nochmals über die Frage des durch die elektrische Konvektion erzeugten Magnetfeldes.[1])

Von A. Righi.

Der Verfasser giebt zunächst einen Überblick über den Gegenstand seines vor der Versammlung der italienischen Physiker gehaltenen Vortrages[2]) und erinnert an die Aufforderung, die er darin an die Mathematiker gerichtet hatte, das Problem „des elektromagnetischen Feldes, welches durch eine in gleichförmiger geradliniger Bewegung begriffene Ladung jenseits einer unbegrenzten leitenden Ebene erzeugt wird", zu studieren.

Dieser Spezialfall — so fährt er hierauf fort — bietet die einfachste und voraussichtlich am leichtesten zu lösende Aufgabe dar, und entfernt sich gleichzeitig nicht allzuweit von den thatsächlichen Versuchsbedingungen, so dass die Schlüsse, zu welchen man bei Behandlung desselben gelangen würde, auch wenn sie auf die in Rede stehende Frage nicht unmittelbar anzuwenden sein würden, doch sicherlich zur Klärung derselben beitragen könnten.

Das vorgeschlagene Problem hat nun durch Prof. Levi-Civita eine vollständige Lösung erfahren. Er benützte dazu, nachdem er die Hertzschen Gleichungen für den beabsichtigten Zweck als unzureichend erkannt hatte, die Gleichungen von Helmholtz, die, wie er selbst bereits gezeigt hatte, zu denjenigen von Hertz führen, falls man die Annahme macht, dass die Potentiale (elektrisches und Vektorpotential) sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten. Er erkannte sodann, dass die Ergebnisse dieselben bleiben, wenn man das Problem vermittelst der Maxwellschen Gleichungen angreift.

Mein gelehrter Kollege wird seine interessante analytische Untersuchung, von der er mir schon jetzt freundlichst Mitteilung gemacht hat, ohne Zweifel selbst publizieren[3]); was mich betrifft, so werde ich seine Endresultate mitteilen, um aus denselben die Schlüsse zu ziehen, die mit der in meiner früheren Arbeit erörterten Frage im Zusammenhang stehen.

Eine elektrische Ladung bewege sich gleichförmig in gerader Linie parallel zu einer unbegrenzten Ebene von endlicher Leitfähigkeit; $k$ sei der Widerstand, den ein Quadrat von 1 cm Seite in jener Ebene einem Strom, der dasselbe von einer Seite zur entgegengesetzten passiert, darbietet. Dieser Widerstand $k$, den man als spezifischen Widerstand der Ebene bezeichnen kann und der gleich dem spezifischen Widerstand des die Ebene bildenden Materials, dividiert durch die Dicke derselben, ist, soll zur Vereinfachung der Formeln nicht in Ohm, sondern in einer 30mal grösseren Einheit ausgedrückt werden, so dass $k$ gleich $^1/_{30}$ des in Ohm ausgedrückten Widerstandes von 1 qcm der Ebene ist.

Die Formeln, zu welchen Levi-Civita gelangt und welche selbstverständlich $k$ enthalten, geben für einen beliebigen Punkt und beliebigen Augenblick die drei Komponenten der elektrischen und diejenigen der magnetischen Kraft. Für meinen Zweck werde ich mich auf die Betrachtung desjenigen beschränken, was mit Bezug auf den leitenden Schirm jenseits des Raumes vor sich geht, in dem sich die elektrische Ladung bewegt.

Das allgemeine Ergebnis ist, dass der leitende Schirm das Magnetfeld in der Weise verändert, dass die magnetische Kraft jenseits des Schirmes geringer ist als diejenige, welche bei Abwesenheit des Schirmes daselbst vorhanden sein würde.

Macht man aber die Annahme, dass $k$ bis zu Null abnehme, oder mit anderen Worten, dass $s$, die Leitfähigkeit des Schirmes, immer mehr steige, so sinkt die magnetische Kraft und strebt dem Werte Null zu. Damit ist meine Behauptung bestätigt, dass nur bei unbegrenzter Leitfähigkeit eine leitende Platte als vollkommener Schirm nicht allein mit Bezug auf die elektrische, sondern auch mit Bezug auf die magnetische Kraft (die erstere ist bereits für einigermassen grosse Werte von $k$ merklich gleich Null) gelten könne.

Um zu erkennen, bis zu welchem Grade der zwischen der bewegten Ladung und der zur Messung der magnetischen Kraft bestimmten Nadel befindliche Schirm die Versuche beeinflussen kann, müssen wir einige Zahlenanwendungen machen. Nur ist es in diesem Falle zweckmässig, anstatt zu den allgemeinen Formeln zu greifen, vereinfachte Formeln zu benützen, indem man dem Umstande Rechnung trägt, dass die Geschwindigkeit, mit der sich die Ladung bewegt, auf jeden Fall gering ist im Vergleich mit der Lichtgeschwindigkeit. Das Verhältnis $a$ zwischen der ersteren und der letzteren Geschwindigkeit ist also jedenfalls als eine sehr kleine Grösse zu betrachten und es dürfen deshalb Ausdrücke mit höheren Potenzen von $a$ vernachlässigt werden. Nimmt man z. B. mit Levi-Civita an, dass die Geschwindigkeit

1) Aus den Rendiconti dell'Academia di Bologna. 12. Jan. 1902.

2) Derselbe wird demnächst in dieser Zeitschrift erscheinen.

3) In den Annales de la Faculté des Sciences de Toulouse.

der beweglichen Ladung 300 m betrage, so wird $a = 10^{-6}$.

Auch der leitende Schirm bedarf numerischer Bestimmung. Nehmen wir an, derselbe bestehe aus Kupfer und sei 1 mm dick, so findet sich $k = 0{,}5 \cdot 10^{-6}$, also in dem betrachteten Falle von der Grössenordnung von $a$, was bei der Vereinfachung der Formeln zu berücksichtigen ist. Anstatt nun dieselben mit den von Levi-Civita gebrauchten Zeichen und mit Bezug auf die von ihm benutzten beweglichen Achsen wiederzugeben, werde ich zur Erleichterung des Vergleichs die Zeichen und das Achsensystem anwenden, deren ich mich bei der Untersuchung des von einer gleichförmig in gerader Linie bewegten elektrischen Ladung erzeugten Magnetfeldes an anderer Stelle[1]) bedient habe.

Wir wollen also annehmen, die Ladung $E$ bewege sich mit konstanter Geschwindigkeit $c$ längs einer Geraden, die wir zur $z$-Achse wählen wollen; Koordinatenanfang sei der Punkt, an dem sich die Ladung $E$ zur Zeit $t = 0$ befunden hatte. Die leitende Ebene sei parallel zur $yz$-Ebene und um den Betrag $d$ von derselben entfernt. Endlich seien $xyz$ die Koordinaten eines beliebigen jenseits des leitenden Schirmes gelegenen Punktes (d. h. $x > d$) und es werde zur Abkürzung gesetzt:

$$\omega = z - ct; \qquad h = \frac{2\pi a}{k};$$

$$s = \sqrt{x^2 + y^2 + \omega^2}; \qquad \varphi = \frac{1}{s(s\sqrt{1+h^2} + h\omega + x)}.$$

Unter Vernachlässigung von höheren Potenzen von $a$ als der ersten findet man dann, dass die elektrische Kraft ein Potential

$$E \frac{ak}{2\pi} \frac{\omega}{s(s+x)}$$

hat und dass für die magnetische Kraft ebenso ein Potential

$$E a y \varphi$$

besteht.

Man sieht sofort, dass bei der Kleinheit von $a$ und $k$ die elektrische Kraft im Punkte $(xyz)$ als Null gelten darf. Wir schliessen also, dass die Kupferplatte die Aufgabe, den jenseits derselben gelegenen Teil des Raumes gegen elektrische Kräfte zu schützen, wohl erfüllt.

Bezeichnen wir nun mit $\mathfrak{L}\mathfrak{M}\mathfrak{N}$ die Komponenten der zur Zeit $t$ in einem beliebigen Punkt $(xyz)$ vorhandenen magnetischen Kraft, so ergiebt sich durch Ableitung aus dem zweiten der obigen Potentiale:

$$\mathfrak{L} = \frac{E a y \varphi}{s^2}\left[x + \varphi s^2 (s + x\sqrt{1+h^2})\right],$$

$$\mathfrak{M} = -\frac{E a \varphi}{s^2}\left[x^2 + \omega^2 - \varphi s^2 y^2 \sqrt{1+h^2}\right],$$

$$\mathfrak{N} = \frac{E a y \varphi}{s^2}\left[\omega + \varphi s^2 (k s + \omega\sqrt{1+h^2})\right].$$

Wie vorauszusehen gewesen, bleibt für die Punkte der $xz$-Ebene von diesen drei Komponenten nur die zweite. In der That ist, wenn $y = 0$, $\mathfrak{L} = 0$, $\mathfrak{M} = -E a \varphi$, $\mathfrak{N} = 0$.

Die magnetische Kraft $\mathfrak{M}$ ändert sich natürlich mit $\omega$, das heisst mit der Änderung der relativen Lage der beweglichen Ladung und des Punktes $(xyz)$, auf welchen sich die Kraft $\mathfrak{M}$ bezieht; wir können uns jedoch darauf beschränken, zu untersuchen, was geschieht, wenn die bewegliche Ladung sich in den kleinsten Abständen von dem Punkte $(xyz)$ befindet, oder mit anderen Worten, wenn $\omega$ sehr klein ist.

In diesem Falle ist angenähert

$$\mathfrak{M} = -E a \frac{x(1+\sqrt{1+h^2}) - h\omega}{x^2(1+\sqrt{1+h^2})^2}.$$

Man sieht also, dass die magnetische Kraft dem absoluten Betrage nach wächst und ihr negatives Vorzeichen behält (das heisst: im Sinne der negativen $y$-Achse gerichtet ist), während die bewegliche Ladung, welche eben im Begriffe ist, an denjenigen Punkt ihrer Bahn zu gelangen, der vom Punkte $(xyz)$ den kleinsten Abstand hat, sich diesem Punkte nähert, ihn erreicht und dann überschreitet. Wenn die bewegliche Ladung sich an dem bezeichneten Punkte befindet, das heisst wenn $\omega = 0$ ist, so liegt demnach die Intensität der magnetischen Kraft zwischen den Werten, die sie vorher hatte und die sie nachher hat. Von der Wirkung, welche die magnetische Kraft mit den aufeinanderfolgenden Werten ihrer Intensität hervorbringt, können wir uns demnach eine passende Vorstellung machen, indem wir dieselbe für den Fall $\omega = 0$ betrachten. Unter dieser Voraussetzung ist

$$\mathfrak{M} = -E a \frac{1}{x^2(1+\sqrt{1+h^2})}.$$

Es ist nun zweckmässig, diese magnetische Kraft mit derjenigen zu vergleichen, welche an dem betrachteten Punkte herrschen würde, wenn der leitende Schirm nicht vorhanden wäre. Zu diesem Zwecke können die Formeln (20) meiner oben erwähnten Abhandlung dienen, von welchen die drei letzten ergeben:

$$L = \frac{E a (1 - a^2) y}{s^3}, \quad M = -\frac{E a (1 - a) x}{s^3}, \quad N = 0.$$

$LMN$ bezeichnen die Komponenten der magnetischen Kraft für diesen Fall. Da nun $y = 0$, $\omega = 0$ ist und $a$ als sehr klein angenommen wurde, so reduzieren sich diese Gleichungen auf

1) Mem. dell'Acc. di Bologna, 24. Febr. 1901; N. Cim. Aug. 1901, S. 104.

$$L = 0, \; M = -\frac{E a}{x^2}, \; N = 0;$$

und man hat mithin

$$\mathfrak{M} = M \frac{1}{1 + \sqrt{1 + h^2}}.$$

Die durch eine bewegliche Ladung jenseits eines leitenden Schirmes erzeugte magnetische Kraft $\mathfrak{M}$ ist also, wie bereits gesagt, kleiner als diejenige, welche an derselben Stelle bestehen würde, wenn der Schirm nicht vorhanden wäre. Hier handelt es sich nun darum, den Betrag der Verminderung der magnetischen Kraft genauer festzustellen.

Um von der Grösse der durch den Schirm hervorgebrachten Wirkung eine bestimmte Vorstellung zu bekommen, werde ich zunächst die von Levi-Civita gewählten Werte benutzen, nämlich $a = 10^{-6}$ und $k = \frac{1}{2} \cdot 10^{-6}$, wovon sich dieser letztere Wert auf einen kupfernen Schirm von 1 mm Dicke bezieht. In diesem Falle ist $h = 4\pi$ und

$$\mathfrak{M} = 0{,}08\, M.$$

Die magnetische Kraft wird also in diesem Falle durch den Schirm um 92 Prozent herabgesetzt. Bei weniger grosser Leitfähigkeit des Schirmes ist jedoch auch die Verminderung weniger stark; für einen Schirm aus Stanniol von $\frac{1}{5}$ mm Dicke findet sich z. B.

$$\mathfrak{M} = 0{,}49\, M;$$

die magnetische Kraft beträgt also in diesem Falle beinahe die Hälfte derjenigen, welche durch die bewegliche Ladung bei Abwesenheit des Schirmes erzeugt werden würde. Ein derartiger Schirm gewährt also nicht allein gegen die elektrische Kraft vollständigen Schutz, sondern beeinträchtigt auch die magnetische Kraft so wenig, als es überhaupt möglich ist, da in der That das Verhältnis zwischen $\mathfrak{M}$ und $M$ durch keine für den beabsichtigten Zweck gut genug leitende Platte bis zu dem Wert 0,5 gebracht werden kann.

Auf den ersten Blick muss dieses Resultat überraschen. Allerdings sind ja die Versuche, durch die nachgewiesen werden sollte, dass durch die elektrische Konvektion ein Magnetfeld entsteht, weit davon entfernt, den hier betrachteten Fall zu verwirklichen; unter anderem haben wir anstatt einer einzigen in geradliniger Bewegung begriffenen Ladung mehrere rotierende Leiter; dennoch aber muss das vorstehende Resultat auf den Gedanken führen, dass auch bei diesen Versuchen die magnetische Kraft durch den metallischen Schirm eine erhebliche Verminderung erleiden müsse, die es nachzuweisen gelte. Wäre dies wirklich so, dann würde es unbegreiflich, wieso beinahe alle Experimentatoren, ohne sich irgendwie um die magnetische Wirkung der zwischen der Magnetnadel und den in Bewegung begriffenen geladenen Körper aufgestellten Leiter zu kümmern, zu einer bemerkenswerten numerischen Übereinstimmung zwischen den berechneten und den beobachteten Werten gelangt sind.

Hierbei ist jedoch ein Umstand zu berücksichtigen. In den meisten Fällen war die Gestalt und Anordnung der bewegten Leiter eine derartige, dass dieselben zusammen einen beinahe kontinuierlichen Leiter bildeten, dessen Bewegung in der Weise vor sich ging, dass nur die kleinen trennenden Zwischenräume zwischen den verschiedenen Teilen ihre Lage im Raume änderten. So z. B. waren die beweglichen Leiter Sektoren einer um ihre Achse rotierenden Scheibe und voneinander nur durch sehr schmale radiale Zwischenräume getrennt. Der magnetische Effekt des Schirmes muss dann nicht etwa ähnlich ausfallen wie derjenige, den die obigen Formeln für den Fall einer bewegten Ladung geben, sondern eher wie der, übrigens leicht zu berechnende, einer gleichmässig elektrisierten Geraden, die sich in ihrer eigenen Richtung verschiebt.

Levi-Civita beweist nun, dass in irgend einem derartigen Falle stationärer Konvektion, das heisst einer Konvektion, die derart vor sich geht, dass die elektrische Kraft bei der Bewegung sich nicht merklich ändert, die Wirkung des Schirmes gleich Null ist. In Wirklichkeit ist ja in dem Falle der in Sektoren geteilten bewegten Scheibe das elektrische Feld nicht streng unveränderlich; aber die durch die Unterbrechungen verursachte Störung kann nur sehr gering sein. So erklärt es sich, weshalb bei der Berechnung der in den Versuchen von Rowland etc. auf die Nadel ausgeübten magnetischen Kraft der leitende Schirm nicht berücksichtigt zu werden brauchte.

Die jüngsten Versuche über den hier behandelten Gegenstand, nämlich diejenigen von Adams, von welchen in meiner vorigen Abhandlung bereits die Rede gewesen ist, scheinen sich jedoch viel mehr als die anderen dem Falle der geradlinig bewegten Ladung zu nähern. In der That wird in dem Adamsschen Apparat die elektrische Konvektion nicht durch eine in Sektoren geteilte leitende Scheibe, sondern durch eine Anzahl von elektrisierten Metallkugeln hervorgebracht, die auf einem Kreisumfange angeordnet sind und um dessen Achse rotieren. Mir scheint es sicher, dass man mit dieser Anordnung bei Nichtberücksichtigung des zwischen den Kugeln und dem Magnetometer befindlichen leitenden Schirmes eine wesentlich geringere magnetische Kraft als die berechnete gefunden haben würde, wenn der Autor nicht den glücklichen Einfall gehabt hätte, den Schirm in dünne parallele Streifen zu zerlegen, deren Anordnung eine derartige war, dass in dem Schirme jene Ströme, denen man die magne-

tische Wirkung desselben zuschreiben kann, absolut nicht auftreten konnten.

Wie man sieht, klärt die von Levi-Civita durchgeführte Untersuchung die Rolle, welche die Metallschirme spielen, einigermassen auf. Im allgemeinen verändert also ein solcher Schirm das von der elektrischen Konvektion erzeugte Magnetfeld, wie ich dies in meiner vorigen Abhandlung zu beweisen gesucht hatte; diese Veränderung kann aber vernachlässigt werden, wenn die Konvektion einen stationären Charakter anzunehmen strebt, wie dies in der That bei den meisten auf unseren Gegenstand bezüglichen Versuchen der Fall ist.

In einer Anmerkung zu dem erwähnten Vortrage hatte ich, von der Hypothese ausgehend, dass der elektrische Strom nichts anderes sei als ein Transport von Elektronen, zwei Erklärungsweisen dafür vorgeschlagen, wieso es denn eigentlich möglich sei, dass ein Leiter das Magnetfeld eines konstanten Stromes nicht modifiziere. Man sieht nunmehr, dass man die zweite von jenen Erklärungen acceptieren, oder mit anderen Worten, dass man annehmen darf, die zu erklärende Thatsache sei dadurch bedingt, dass die Elektronen in ungemein kleinen Abständen aufeinanderfolgen, wodurch der Strom sich von der Verschiebung einer kontinuierlichen elektrisierten Linie längs ihrer selbst nur überaus wenig unterscheidet.

Sind aber nunmehr auch gewisse Zweifel bezüglich der Deutung der mehrfach erwähnten Versuche beseitigt, so hat sich andererseits leider die Hoffnung nicht erfüllt, dass es gelingen werde, die Ursache der Nichtübereinstimmung zwischen den Versuchen Crémieus und denjenigen der anderen Experimentatoren aufzuklären.

(Aus dem Italienischen übersetzt von B. Dessau.)

# VORTRÄGE UND DISKUSSIONEN VON DER 73. NATURFORSCHERVERSAMMLUNG ZU HAMBURG.

## W. Ostwald (Leipzig), Über Katalyse.[1])

Der Begriff und Name der katalytischen Wirkungen ist im Jahre 1835 von Berzelius aufgestellt worden, nachdem im vorangegangenen Jahre Mitscherlich das Ergebnis seiner klassischen Arbeit über die Bildung des Äthers dahin ausgesprochen hatte, dass der Zerfall des Alkohols in Äther und Wasser unter dem Einflusse der Schwefelsäure weder von der wasserentziehenden Wirkung der Säure, noch von der erhöhten Temperatur, noch endlich von der Bildung der Äthylschwefelsäure bedingt sei. Er schliesst: Zersetzungen und Verbindungen, welche auf diese Weise hervorgebracht werden, kommen sehr häufig vor; wir wollen sie Zersetzungen und Verbindungen durch Kontakt nennen.

Während wir Mitscherlich ein erstes sorgfältig experimentell durchgearbeitetes Beispiel derartiger Vorgänge verdanken, ist das Verdienst von Berzelius der Nachweis, dass bereits eine grössere Anzahl von Reaktionen bekannt war, welche mit jenem Falle bestimmte Ähnlichkeiten aufwiesen. Die Eigenschaft seines Geistes, welcher er einen wesentlichen Teil seiner grossen Wirkung verdankte, seine Fähigkeit, auseinanderliegende Einzelheiten systematisch zusammenzufassen, bewährte sich auch hier, und der von ihm geschaffene Begriff der Katalyse hat seitdem, wenn auch anfangs nicht ohne Widerspruch, aber jetzt endgültig, Eingang in die Wissenschaft gefunden.

Die von Berzelius zusammengefassten Erscheinungen sind folgende: die 1811 von Kirchhof entdeckte Umwandlung der Stärke in Dextrin und Zucker durch Kochen mit verdünnten Säuren; die von demselben 1813 nachgewiesene, gleiche Wirkung des Malzauszuges; die 1833 durch Payen und Persoz bewirkte teilweise Isolierung des hierbei wirksamen Stoffes, der Diastase; die 1818 von Thenard untersuchte Zersetzung des Wasserstoffperoxyds durch Metalle, Oxyde und durch Fibrin; die Wirkung des Platins auf verbrennliche Gasgemenge (J. Davy 1817 und Döbereiner 1822) und endlich zufolge der eben erwähnten Arbeit von Mitscherlich die Ätherbildung.

Das Gemeinsame in diesen Vorgängen ist, dass sie durch die Anwesenheit von Stoffen bewirkt werden, deren Bestandteile nicht in den Endprodukten erscheinen und daher durch die Reaktion nicht verbraucht werden. Demgemäss definiert Berzelius sie folgendermassen: „Die katalytische Kraft scheint eigentlich darin zu bestehen, dass Körper durch ihre blosse Gegenwart und nicht durch ihre Verwandtschaft die bei dieser Temperatur schlummernden Verwandtschaften zu erwecken vermögen, so dass zufolge derselben in einem zusammengesetzten Körper die Elemente sich in solchen anderen Verhältnissen ordnen, durch welche eine grössere elektro-

1) Gemeinschaftliche Sitzung der naturwissenschaftlichen Hauptgruppe am 26. September 1901.

chemische Neutralisierung hervorgebracht wird."

Es ist wichtig, zu bemerken, dass in dieser Definition Berzelius keinen Versuch irgend einer Erklärung gemacht hat; vielmehr hat er in einer darauf folgenden Diskussion mit Liebig sehr ernstlich auf die grosse Gefahr hingewiesen, unvollkommen bekannte Erscheinungen durch hypothetische Annahmen erklären zu wollen und so der experimentellen Forschung vorzugreifen und sie zu behindern. Diese Warnung ist nicht berücksichtigt worden, und die von Berzelius vorausgesehenen Behinderungen in der wissenschaftlichen Bearbeitung der Frage haben bis in unsere Tage ihre schädliche Wirkung geübt.

Versuchen wir an der Hand der vorstehend gegebenen Begriffsbestimmung eine Übersicht der gegenwärtig bekannten Kontaktwirkungen oder Katalysen zu gewinnen, so werden wir folgende Einteilung machen können.

1. Auslösungen in übersättigten Gebilden.
2. Katalysen in homogenen Gemischen.
3. Heterogene Katalysen.
4. Enzymwirkungen.

Die Thatsachen, welche zu dieser Gruppierung geführt haben, sollen nacheinander erörtert werden, wobei sich die Angemessenheit der Ordnung, wie ich hoffe, ergeben wird.

1. Auslösung in übersättigten Gebilden. Ich beginne mit diesen Erscheinungen, da sie gegenwärtig als grundsätzlich aufgeklärt gelten können, und uns somit die Beurteilung der anderen Fälle erleichtern werden. Der bekannteste Fall ist hier die Krystallisation einer übersättigten Lösung, z. B. von Glaubersalz, durch Zutritt einer sehr kleinen Spur des festen Stoffes, bezüglich dessen die Lösung übersättigt ist. Hier liegt zunächst das charakteristische Missverhältnis zwischen der Menge des wirksamen Stoffes und der Menge des durch seinen Einfluss umgewandelten vor. Mittels eines weit unterhalb der Grenze der Wägbarkeit liegenden Stäubchens kann man eine beliebig grosse Menge der übersättigten oder überkalteten Flüssigkeit zur Erstarrung bringen. Vor einigen Jahren habe ich die Grösse des kleinsten Stäubchens zu messen versucht, welches noch die Wirkung zeigt; sie hat sich als sehr klein, nämlich $10^{-10}$ bis $10^{-12}$ g, aber nicht unmessbar klein ergeben, denn noch kleinere Mengen brachten keine Erstarrung mehr hervor.

Diese Vorgänge sind nicht auf den Fall beschränkt, dass eine Flüssigkeit in Bezug auf einen festen Körper übersättigt ist; sie kann auch in Bezug auf ein Gas übersättigt sein, und es wird dann in ihr durch Spuren eines Gases eine unverhältnismässige Gasentwickelung ausgelöst. Auch ist die Übersättigung oder allgemeiner die Überschreitung nicht an den flüssigen Zustand gebunden; auch Dämpfe können übersättigt in Bezug auf flüssige oder feste Körper sein, und selbst bei festen Körpern sind Fälle bekannt, wo sie „übersättigt" in Bezug auf Flüssigkeiten sind, d. h. sich in Berührung mit ein wenig der betreffenden Flüssigkeiten in diese verwandeln. „Übersättigung" seitens fester Körper in Bezug auf andere feste Körper, die aus ihnen entstehen können, sind sehr häufig. Dagegen sind Übersättigungen von Flüssigkeiten in Bezug auf andere Flüssigkeiten noch nicht sicher nachgewiesen und jedenfalls nur schwierig herzustellen.

Die Theorie aller dieser Erscheinungen ist bekannt. Es handelt sich jedesmal um die Thatsache, dass Gebilde vorliegen, deren Beständigkeit nicht die grösste unter den vorhandenen Bedingungen von Druck und Temperatur ist. Es giebt vielmehr noch andere, beständigere Zustände, die dadurch gekennzeichnet sind, dass in ihnen eine neue Phase, d. h. ein physisch verschiedener Anteil mit anderen Eigenschaften auftritt. Bei der übersättigten Glaubersalzlösung ist es das feste Salz, bei dem übersättigten Sodawasser ist es das Kohlendioxydgas. Nun tritt allgemein eine solche neue Phase nie von selbst auf, wenn die Ueberschreitung nicht zu gross war, und das Gebilde verhält sich wie ein im Gleichgewicht befindliches. Tritt aber eine kleine Menge der fehlenden Phase mit diesem „metastabilen" Gebilde in Berührung, so ist die Reaktion ausgelöst, und die neue Phase vermehrt sich, bis Gleichgewicht eingetreten ist.

Ist die neue Phase ein fester Stoff, so ist die auslösende Wirkung, die „Keimwirkung", daran gebunden, dass der Keim aus dem gleichen Stoffe besteht wie die mögliche, feste Phase. Ausserdem haben noch isomorphe Stoffe diese Eigenschaft; fremde feste Körper sind dagegen ohne Wirkung. Hier ist allerdings noch ein weites Feld der Forschung offen, denn da isomorphe Stoffe wahrscheinlich durch die Bildung fester Lösungen wirken, so ist zu untersuchen, ob auch solche festen Stoffe, die zwar nicht isomorph sind, wohl aber mit dem betreffenden Stoffe feste Lösungen bilden können, wirksam sind.

Ausserdem giebt es Fälle, wo feste Körper auslösend wirken, welche weder isomorph sind, noch feste Lösungen bilden. Solche „künstlichen Keime" bilden sich beispielsweise zuweilen, wenn man Kieselsäure in Gegenwart der betreffenden Krystalle unlöslich werden lässt und dann die Krystalle mittels passender Lösungsmittel entfernt. Ich habe diese Thatsache zwar konstatiert, aber noch nicht die Zeit gefunden, eine eingehende Untersuchung auszuführen und insbesondere einen sicheren Weg zur Gewinnung der künstlichen Keime auszu-

arbeiten. Doch glaubte ich die Beobachtung hier erwähnen zu sollen, da sie manche scheinbare Widersprüche aufklären kann, die man bei den Untersuchungen in diesem schwierigen Gebiete gefunden hat.

Während die Keime bei Übersättigungen in Bezug auf feste Phasen spezifischer Natur sein müssen, wirkt bei Übersättigungen in Bezug auf Gase jedes beliebige Gas auslösend. Dies ist eine Folge davon, dass sich jedes Gas in jedem anderen unbeschränkt löst, d. h. mit ihm eine homogene Mischung liefert.

Eine gegebene Flüssigkeit kann gleichzeitig in Bezug auf verschiedene Phasen übersättigt sein. So kann man leicht Natriumacetat und Natriumthiosulfat zu einer Flüssigkeit zusammenschmelzen, welche gegen Keime jedes dieser Salze in besonderer Weise reagiert, indem nur der betreffende Stoff ausgeschieden wird, während der andere im flüssigen Zustande hinterbleibt. Denkt man sich daher in einer Röhre an einer Stelle einen Keim des Acetats, an einer anderen Stelle einen solchen des Thiosulfats angebracht, so wird beim Durchströmen der Flüssigkeit durch die Röhre jeder dieser Keime in seiner eigenen Art wachsen.

Wir haben hier ein Beispiel für die physikochemische Möglichkeit gewisser organischer Vorgänge, über welche sich bereits Berzelius bei Gelegenheit seiner Erörterungen über Katalyse den Kopf zerbrochen hat. Es ist dies die Bildung der verschiedenartigsten Stoffe in den Organen des tierischen Körpers aus einer und derselben Flüssigkeit, dem Blute. Wenn wir das Blut als eine in Bezug auf alle diese Stoffe übersättigte Lösung betrachten dürften, so wäre es verständlich, dass jedes Organ sich seiner Substanz nach auf Kosten einer und derselben Flüssigkeit vermehren kann.

Es wäre jedenfalls unzulässig, zu behaupten, dass hiermit wirklich eine allgemeine Theorie der tierischen Sekretionen gegeben sei. Denn die Betrachtung hat ja nur Geltung für heterogene Phasen. Auch ist noch die Vorfrage zu erledigen, ob denn auch Verbindungen, die in der Flüssigkeit nicht vorgebildet sind, sondern erst durch chemische Wechselwirkung der darin enthaltenen Stoffe entstehen müssen, Übersättigung gegen berührende andere Phasen zeigen können.

Diese Frage muss bejaht werden. Es sind uns beispielsweise Übersättigungserscheinungen an den Lösungen des Calciumsulfats wohlbekannt, welche so verdünnt sind, dass sie zum allergrössten Teil dies Salz in Gestalt seiner Ionen enthalten. Da im festen Salze keine Ionen enthalten sind, liegt hier eine chemische Umwandlung vor. Ebenso zeigen verdünnte Lösungen von Bleisalzen und Thiosulfaten Übersättigung in Bezug auf Bleisulfid, das aus ihnen durch eine weitgehende chemische Zersetzung entsteht. Endlich gewähren die Methoden der „physikalischen Entwickelung" in der Photographie Beispiele solcher Erscheinungen.

Leider ist es nicht ausführbar, an dieser Stelle die möglichen physiologischen Anwendungen der hier obwaltenden Gesetze klarzulegen, und ich muss mich mit dem Ausdrucke meiner Überzeugung begnügen, dass auf diesem Wege in der That manche Probleme des organischen Lebens eine zureichende Lösung finden können.

Fassen wir die eben geschilderten Verhältnisse grundsätzlich zusammen, so sehen wir, dass die wesentlichste Voraussetzung das Vorhandensein eines metastabilen Gebildes ist, welches den stabileren Zustand aus eigenen Kräften erst aufsucht, nachdem ihm ein Weg dazu geöffnet ist. Der Keim der anderen Phase ist nicht die Ursache der Reaktion in dem Sinne, in welchem Robert Mayer dies Wort braucht, denn er liefert nicht die für den Vorgang erforderliche, freie Energie, sondern er ist nur die Auslösung eines Vorganges, der sich aus eigenen Kräften vollendet, nachdem er einmal in Gang gebracht ist.

Wir können uns schon jetzt darüber klar werden, dass Ähnliches auch für alle anderen Fälle der Kontaktwirkung gelten muss. Gerade der Mangel an Proportionalität zwischen der Menge des katalytisch wirkenden Stoffes und dem Betrage der Umwandlung macht es zu einer notwendigen Voraussetzung, dass die katalytisch verursachten Vorgänge ihren Energieaufwand aus Eigenem bestreiten. Diese Erkenntnis tritt im Gewande ihrer Zeit schon bei Berzelius auf, wenn er sagt, dass durch den Vorgang eine grössere elektrochemische Neutralisation bewirkt würde. Er ist auch gegenwärtig oft genug ausgesprochen worden, aber meist in einer falschen Gestalt. So finde ich bei einem hervorragenden Erforscher der katalytischen Enzymwirkungen den Satz, dass durch diese nie eine endothermische Reaktion soll bewirkt werden können. Dies ist ganz unrichtig, denn da endothermische Reaktionen von selbst, d. h. ohne katalytische Beeinflussung, ganz wohl stattfinden können, so ist gar nicht einzusehen, warum solche nicht auch unter dem Einflusse von Enzymen stattfinden sollen. Wohl aber sind unter diesen Einflüssen keine Reaktionen möglich, bei denen eine Verminderung der freien (nicht der gesamten) Energie stattfindet. Es sind mit anderen Worten unter dem Einflusse von Katalysatoren keine Reaktionen möglich, die nicht auch ohne diesen Einfluss stattfinden könnten, ohne dass eines der Energiegesetze verletzt wird. In dieser Gestalt ist der Satz allerdings den beteiligten Forschern nicht ganz geläufig,

denn es finden sich nicht selten Darstellungen, in denen der auf den zweiten Hauptsatz bezügliche Teil dieses Gesetzes missachtet und verletzt wird.

Dasselbe ist über die Behauptung zu sagen, dass Katalysatoren nur spaltende, keine synthetische Wirkung haben können. Die organische Chemie bietet zahlreiche Beispiele des Gegenteils; ich brauche nur an die Synthesen unter dem katalytischen Einflusse des Kaliumäthylats zu erinnern.

2. Katalysen in homogenen Gemischen. Die jetzt zu besprechende Abteilung der Kontaktwirkungen ist die grösste und theoretisch wichtigste. Hierher gehören die meisten der zahllosen inzwischen entdeckten katalytischen Wirkungen.

Fragen wir, ob sich die im ersten Falle gegebene Erklärung auch hier anwenden lässt, so muss die Antwort verneinend lauten. Das Wesentliche im ersten Falle war ja das Auftreten der neuen Phase; diese ist aber hier durch die Definition ausgeschlossen.

Den richtigen Standpunkt dem neuen Probleme gegenüber finden wir aber, wenn wir an der allgemeinen Bedingung festhalten, welche eben für alle Gebilde aufgestellt worden ist, die einer Kontaktwirkung unterliegen; sie dürfen nicht einen stabilen Zustand darstellen, denn ein solcher kann überhaupt keine Änderung ohne Energiezufuhr erfahren. Wie verhalten sich aber instabile Gebilde, wenn sie homogen sind?

Die Antwort ist, dass homogene, instabile Gebilde überhaupt nicht anders als im Zustande der Umwandlung existieren können. Eine übersättigte Lösung kann, wenn die Übersättigung innerhalb gewisser Grenzen bleibt, bei passendem Schutz unbegrenzt lange aufbewahrt werden und in ihr findet keinerlei Veränderung statt. Eine Flüssigkeit aber, welche ohne Zufuhr freier Energie andere Produkte liefern kann, die gelöst bleiben, lässt sich nicht aufbewahren, ohne diese Produkte zu bilden. Dies kann möglicherweise äusserst langsam geschehen, so langsam, dass ohne besondere auf den Zweck gerichtete, langwierige Untersuchung eine Veränderung überhaupt nicht nachgewiesen werden kann. Aber die sicherste Grundlage allgemeiner Schlüsse, die wir kennen, die Gesetze der Energetik, verlangen, dass thatsächlich die Umwandlung stattfindet. Sie diktieren keinen Zahlenwert der Geschwindigkeit, die dabei eingehalten werden muss; sie verlangen nur, dass diese Geschwindigkeit nicht streng Null ist, sondern einen endlichen Wert hat.

Hierdurch gewinnen wir alsbald auch für diesen Fall die Definition eines Katalysators.

Ein Katalysator ist jeder Stoff, der, ohne im Endprodukt einer chemischen Reaktion zu erscheinen, ihre Geschwindigkeit verändert.

Es ist bei dieser Definition sachgemäss vermieden, irgend eine Ansicht über die Ursache eines solchen Einflusses auszusprechen. Ja, wir müssen uns hüten, auch nur zu behaupten, dass für alle katalytischen Wirkungen Ursachen derselben Art massgebend sind. Diese Fragen stehen auf einem anderen Blatt; hier soll zunächst nur eine Definition gefunden werden, welche eine wissenschaftliche Bearbeitung der Frage ermöglicht.

Dass die gegebene Definition diesen Zweck erfüllt, werden Sie alsbald erkennen, denn sie ergiebt sofort die Fragestellung nach dem zahlenmässigen Betrage der Beschleunigung bezw. Verzögerung und deren Abhängigkeit von der Natur und Konzentration des Katalysators, der Temperatur, der Gegenwart anderer Stoffe u. s. w. Es ist selbstverständlich, muss aber dennoch ausgesprochen werden, dass alle Versuche, Theorien für die Ursache der katalytischen Erscheinungen aufzustellen, wertlos bleiben, bis derartige messende Feststellungen durchgeführt sind.

Fasst man die Katalyse in dem eben definierten Sinne auf, so ist sie eine ungemein verbreitete Erscheinung, welche thatsächlich sich jedesmal geltend macht, wenn überhaupt die Geschwindigkeit einer chemischen Reaktion der Messung zugänglich ist. Ein ausgezeichnetes Beispiel haben die bekannten Versuche von Menschutkin ergeben, der für eine Anzahl verschiedenartiger Reaktionen nachgewiesen hat, dass ihre Geschwindigkeit je nach dem Lösungsmittel zwischen sehr bedeutenden Grenzen verschieden ausfallen kann. Schon diese Wirkungen der Lösungsmittel werden wir also als katalytische zu bezeichnen haben. Feststellungen darüber, ob sich hierbei etwa Verbindungen zwischen dem Lösungsmittel und den Reagentien bilden, so dass Änderungen der Geschwindigkeit auf Änderungen der wirksamen Mengen zurückzuführen sind, sollen dadurch natürlich nicht präjudiziert sein.

Zwischen diesen Einflüssen und solchen, bei denen verschwindend geringe Menge zugesetzter Stoffe die Geschwindigkeit im allerhöchsten Masse ändern, lassen sich stetige Übergänge von allen Graden nachweisen. Bisher sind Wirkungen der letzteren Art fast ausschliesslich als katalytische bezeichnet worden; da es sich indessen nur um quantitative Unterschiede handelt, so ist es methodisch nicht gerechtfertigt, die Fälle auszuschliessen, in welchen die Beträge kleinere Werte haben.

Zur Beobachtung und Messung sind bisher meist die Fälle gelangt, in denen sehr grosse Beeinflussungen durch sehr kleine Stoffmengen vorlagen. Selbst wenn man sich auf solche be-

schränkt, so ist die Anzahl der nachgewiesenen einzelnen Fälle bereits jetzt ausserordentlich gross. Insbesondere verdanken wir den Arbeiten Schönbeins eine fast unabsehbare Liste solcher Reaktionen. Allerdings fehlt bei Schönbein noch die Erkenntnis, dass es sich bloss um Beschleunigungen an sich stattfindender, nur langsam verlaufender Vorgänge handelt; er sieht sie vielmehr als durch den Katalysator hervorgerufen an. Dadurch stehen wir jetzt vor der Aufgabe, das von diesem unermüdlichen und originalen Forscher ausgegrabene Rohmaterial einer quantitativen Durcharbeitung zu unterziehen: eine Arbeit, welche die gemeinsame Bethätigung einer ganzen Reihe von Forschern beanspruchen wird.

An eine Aufzählung solcher Fälle kann ich hier nicht gehen. Ich will nur betonen, dass es keine Art chemischer Reaktionen zu geben scheint, die nicht katalytisch beeinflusst werden könnte, und keine Art chemischer Stoffe, sei es Elemente oder Verbindungen, die nicht katalytisch wirken könnten. Ebenso beantwortet sich die von Berzelius bereits gestellte Frage, ob es allgemeine oder spezifische Katalysatoren gebe, dahin, dass beide Fälle nachweisbar sind. Während beispielsweise die Anwesenheit von Wasserstoffion die meisten chemischen Reaktionen beschleunigt, so dass dieser Stoff als ein Katalysator von grosser Allgemeinheit bezeichnet werden muss, giebt es namentlich unter den Enzymen spezifische Katalysatoren, welche nur auf ganz bestimmte Stoffe ihre beschleunigende Wirkung ausüben. Auch die andere Frage von Berzelius, ob aus einem und demselben Stoff oder Stoffgemisch durch verschiedene Katalysatoren verschiedene Produkte hervorgebracht werden können, oder in unserem Sinne, ob verschiedene mögliche Reaktionen an demselben Gebilde durch verschiedene Katalysatoren in verschiedenem Sinne beschleunigt werden können, glaube ich bejahend beantworten zu müssen, wenn ich auch keine besonders auf diesen Zweck gerichteten Versuche anzuführen weiss.

Wenden wir uns nun den Versuchen zu, die katalytische Erscheinung dem wissenschaftlichen Verständnis näher zu bringen oder eine Theorie derselben zu geben, so muss ich an das eben Gesagte erinnern. Die bisherigen Theorien, soweit sie überhaupt Anspruch auf wissenschaftliche Bedeutung erheben können, schweben zur Zeit noch in der Luft, da ihre messende Durcharbeitung eben nur in Angriff genommen ist. Wenn auch die Untersuchungen, zu deren Verfolgung seit einigen Jahren sich eine Anzahl tüchtiger, junger Forscher in dem von mir geleiteten Laboratorium vereinigt hat, bereits einige Ergebnisse in diesem Sinne haben zu Tage treten lassen, so möchte ich doch an dieser Stelle mir voreilige Schlüsse am wenigsten zu schulden kommen lassen. Vielleicht wird es nach einigen Jahren möglich sein, allgemeine Ergebnisse mitzuteilen; heute muss ich mich damit begnügen, dass der Boden für die gemeinsame Arbeit den Fachgenossen frei gemacht ist.

Die erste Theorie der katalytischen Erscheinungen wurde von Liebig aufgestellt, und zwar zu dem Zwecke, diesen von Berzelius geschaffenen Begriff als überflüssig erscheinen zu lassen. Liebig fasste die Katalyse als eine unmittelbare Folge des mechanischen Trägheitsgesetzes auf. Seine Äusserung lautet: „Diese Ursache ist die Fähigkeit, welche ein in Zersetzung oder Verbindung, d. h. in chemischer Aktion begriffener Körper besitzt, in einem anderen ihn berührenden Körper dieselbe chemische Thätigkeit hervorzurufen, oder ihn fähig zu machen, dieselbe Veränderung zu erleiden, die er selber erfährt. Diese Fähigkeit wird am besten durch einen brennenden Körper (einen in Aktion begriffenen) versinnlicht, mit welchem wir in anderen Körpern, indem wir sie dem brennenden nähern, dieselbe Thätigkeit hervorrufen."

Liebig hat bei dieser Erklärung offenbar keine glückliche Hand gehabt. Sein eigenes Beispiel schlägt ihn, denn zum Anzünden braucht man keinen brennenden Körper, sondern nur einen heissen; ob er infolge eines chemischen Vorganges heiss ist oder aus irgend einem anderen Grunde (z. B. infolge eines elektrischen Stromes), ist für den Erfolg ganz gleichgültig. Es sind denn auch alsbald solche Einwände erhoben worden, und Liebig sah sich veranlasst, seiner Hypothese eine veränderte Gestalt zu geben. Er erläuterte seine Ansicht im Anschluss an die Frage der Zuckergärung durch folgende Worte:

„Ähnlich wie die Wärme das statische Moment in den Elementen sehr vieler chemischer Verbindungen aufzuheben fähig ist, geschieht dies durch einen Körper, dessen Elemente sich selbst im Zustande eines aufgehobenen Gleichgewichts befinden; die Bewegung, in der sich seine Atome befinden, teilt sich den Atomen der Elemente des Zuckers mit; sie hören auf, in dem Zustande zu beharren, in welchem sie Zucker bilden, und ordnen sich nach ihren besonderen Anziehungen."

Diese Hypothese „molekularer Schwingungen" hat sich in der Folge einer grossen Beliebtheit erfreut und dürfte noch heute die Ansicht vieler, insbesondere der nichtbeteiligten Fachgenossen darstellen. Sie hat den besonderen Vorzug, dass sie überhaupt nicht wider-

legt werden kann, denn sie ist einer Prüfung nicht zugänglich. Die wissenschaftliche Anspruchslosigkeit, welche in der Anwendung einer solchen „Theorie" liegt, wurde um so weniger empfunden, als auch die übrige Entwickelung der Chemie nach einer Richtung standfand, in welcher die Benutzung molekularer Hypothesen als ein vollwichtiges, wissenschaftliches Hilfsmittel galt. Wenn man aber versucht, aus ihr auch nur die geringste Anleitung zu experimenteller Fragestellung und Forschung zu entnehmen, oder sie zu irgend einer Vermutung über die möglichen Gesetze der katalytischen Wirkungen zu verwerten — und dies ist doch der einzige Zweck solcher Hypothesen —, so überzeugt man sich allerdings von ihrer vollendeten Unfruchtbarkeit.

Dass durch die Hypothese der molekularen Schwingungen die ganze Angelegenheit thatsächlich auf ein totes Geleis gefahren war, lässt sich daraus erkennen, dass eine stete wissenschaftliche Bearbeitung des einst mit so grossem Eifer behandelten Problems hernach nicht eingetreten ist. Lange Zeit hindurch sind es nur vereinzelte Forscher, welche sich um katalytische Erscheinungen kümmern, sie beobachten und beschreiben. Auch hat sich Schönbein, dessen Forschungen wir soviel von dem verdanken, was wir an Thatsachen gegenwärtig wissen, an den theoretischen Streitigkeiten über deren Ursache nicht beteiligt; es machte ihm vielmehr ein sichtliches Vergnügen, diesen Erscheinungen nachzugehen, für welche die zeitgenössische Chemie, der er nur geringe Achtung zollte, keine Erklärung noch Unterkunft wusste.

Viel Günstigeres lässt sich von einem anderen Gedanken sagen, der lange vorher aufgestellt, inzwischen aber lange Zeit nicht zur Geltung gekommen war. Es ist dies die Idee der Zwischenreaktionen.

Ihren Ausgang hat sie in der ersten wissenschaftlichen Bearbeitung genommen, welche die chemischen Vorgänge in der Bleikammer beim Schwefelsäureprozess erfuhren. In einer klassisch gebliebenen Arbeit haben Clément und Desormes im Jahre 1806 die noch heute allgemein angenommene Erklärung für die Wirkung gegeben, welche die Oxyde des Stickstoffes bei der Oxydation der schwefligen Säure durch den Luftsauerstoff ausüben. Wie Sie alle wissen, beruht sie auf der Annahme, dass die schweflige Säure durch die höheren Oxyde des Stickstoffes oxydiert wird, während diese in Stickstoff übergehen. Letzterer verbindet sich wieder mit dem Luftsauerstoff, und der Vorgang kann von neuem erfolgen. So dient dann eine geringe Menge von Stickstoffoxyden, um unbegrenzte Mengen schwefliger Säure zu oxydieren.

Merkwürdigerweise wurde zu der Zeit des Streites zwischen Berzelius und Liebig dieser Fall gar nicht in die Erörterung gezogen, und erst später finden sich Anwendungen der alten Betrachtungsweise auf andere Fälle, wo chemische Vorgänge durch Stoffe befördert werden, ohne dass ein stöchiometrisches Verhältnis zu diesen Hilfsstoffen besteht. Doch hat sich dann diese Auffassung mehr und mehr verbreitet, und heute muss man sie als den ältesten und wichtigsten Versuch bezeichnen, gewisse, wenn auch vielleicht nicht alle katalytischen Vorgänge zu erklären.

Allerdings besteht auch dieser Ansicht gegenüber meist noch eine gewisse Anspruchslosigkeit. Wenn man sich einer katalytischen Erscheinung gegenüber sieht, so sucht man nach möglichen Zwischenprodukten, an deren Bildung der Hilfsstoff oder Katalysator teilnehmen könnte, und erachtet die Aufgabe als im wesentlichen gelöst, wenn man einen solchen namhaft machen kann. Gelingt es gar, etwas von dem angenommenen Zwischenprodukt aus der Reaktionsmasse herauszupräparieren, so gilt die Auffassung als erwiesen. Ob jener Stoff wirklich ein Zwischenprodukt und nicht etwa nur ein Nebenprodukt ist, das ist eine Frage, welche kaum gestellt, geschweige denn erledigt wird.

Prüfen wir nun den Gedanken von unserem heutigen Standpunkte aus, so wird man zunächst etwas Widersprechendes in ihm empfinden. Damit ein Vorgang überhaupt verläuft, muss er mit einem Abfall der freien Energie verbunden sein. Dieser Abfall hängt nur vom Anfangs- und Endpunkte der Reaktion ab, nicht aber von ihrem Wege. Andererseits ist die Geschwindigkeit der Reaktion in streng vergleichbaren Fällen proportional diesem Abfalle. Hieraus würde man zu schliessen geneigt sein, dass die Reaktionsgeschwindigkeit eines gegebenen Gebildes denselben Wert haben müsste, ob der Vorgang direkt oder indirekt, ob er in einem Zuge oder in Stufen stattfindet.

Ein solcher Schluss wäre falsch, denn ausser dem Abfall der freien Energie sind noch viele andere Faktoren für die Reaktionsgeschwindigkeit bestimmend, die man keineswegs alle kennt. Ein wohlbekanntes Beispiel ist der sehr grosse Einfluss, den die Temperatur hat und der unverhältnismässig viel mehr beträgt als die entsprechende Zunahme der freien Energie. Auch lehrt die chemische Energetik, dass sich zwar über die Gleichgewichte gegebener Gebilde Allgemeines aussagen lässt, nicht aber über die Zahlenwerte der Geschwindigkeiten, mit denen dies Gleichgewicht erreicht wird. Es ergiebt also keinen Widerspruch mit allgemeinen Gesetzen, wenn wir annehmen, dass eine gewisse Reaktionsfolge über einen Zwischenstoff schneller erfolgt als die unmittelbare Reaktion ohne diesen; doch spricht auch nichts dafür, und einiges dagegen, dass dies allgemein der Fall ist.

Um also auf unser klassisches Beispiel, das ja übrigens auch bald der Geschichte angehören wird, zurückzukommen, so können wir immerhin annehmen, dass die schweflige Säure durch den Luftsauerstoff allein viel langsamer oxydiert wird als die beiden Reaktionen: Oxydation der schwefligen Säure durch Stickstoffperoxyd und Oxydation des Stickoxyds durch Luftsauerstoff, nebeneinander verlaufen, trotzdem die Konzentrationen der Zwischenprodukte notwendig geringer sein müssen als die für die unmittelbare Reaktion wirksamen Konzentrationen. Aber damit wir diese Auffassung als wissenschaftlich begründet erachten, fehlt noch die Hauptsache: es müssen die in Betracht kommenden Reaktionsgeschwindigkeiten wirklich gemessen sein, und ehe dies geschehen ist, kann man nur von einer Vermutung, nicht aber von einer Erklärung reden. Und was hier gesagt ist, gilt allgemein: durch die Annahme irgend welcher Zwischenreaktionen wird eine katalytische Beschleunigung durchaus nicht erklärt, wenn nicht bewiesen wird, dass diese Zwischenreaktionen unter den vorhandenen Bedingungen thatsächlich schneller verlaufen als die direkte Reaktion.

Bis heute ist noch kein derartiger Fall einwurfsfrei durchgearbeitet und eine derartige Erklärung in keinem einzigen Falle bewiesen. Allerdings wird, wie ich hoffe, diese Lücke nicht mehr lange bestehen, denn einige auf diesen Punkt gerichtete Arbeiten sind ihrem Abschlusse nahe.

Es entsteht nun, vorausgesetzt, dass in einzelnen Fällen die Richtigkeit der Theorie der Zwischenprodukte bewiesen ist (was allem Anscheine nach eintreten wird), die neue Frage, ob auf diesem Wege eine Erklärung aller Katalysen gegeben sei. Ich glaube, dass hierauf unbedingt mit Nein geantwortet werden muss. Ich glaube eine ganze Anzahl Katalysen zu kennen, bei denen eine derartige Erklärung nicht durchführbar ist. Insbesondere sehe ich keine Möglichkeit, die Thatsache der verzögernden katalytischen Beeinflussungen durch die Annahme von Zwischenprodukten zu erklären. Denn wenn eine Reaktion über die Zwischenprodukte langsamer geht als auf direktem Wege, so wird sie eben auf diesem letzteren stattfinden, und die Möglichkeit von Zwischenprodukten hat überhaupt keinen Einfluss auf den Vorgang.

Wohl aber erscheint mir eine Ausdehnung der Theorie der Zwischenprodukte auf die heterogenen Katalysen möglich; wir kommen auf diese Frage im nächsten Teile zurück.

Eine andere Theorie der Katalysen ist in neuerer Zeit von Euler aufgestellt worden. Indem er von der bereits früher erwogenen Annahme ausgeht, dass alle chemischen Reaktionen Ionenreaktionen sind, und dass ihre Geschwindigkeiten von der Konzentration der wirklichen Ionen abhängen, nimmt er an, dass der katalytische Stoff die Eigenschaft hat, die Konzentration der beteiligten Ionen zu ändern. Gemäss dieser veränderten Konzentration muss denn auch die Reaktionsgeschwindigkeit sich ändern.

Soviel ich sehe, ist eine solche Theorie formal durchführbar, d. h. es wird im allgemeinen möglich sein, die erforderlichen Annahmen zu machen, ohne mit den Gesetzen der allgemeinen Chemie in Widerspruch zu geraten. Ob sich aber nicht später Widersprüche einstellen werden, wenn man die erforderlichen Annahmen für eine Anzahl von Stoffen gemacht und dann deren wechselseitige Reaktionsgeschwindigkeiten bestimmt hat, lässt sich jetzt noch nicht absehen. Insbesondere scheint mir eine wesentliche Schwierigkeit in der mehrfach konstatierten Thatsache zu liegen, dass zwei Katalysatoren bei gemeinsamer Wirkung oft eine ganz unverhältnismässig viel grössere Beschleunigung bewirken, als sich aus der Summierung ihrer Einzelwirkungen berechnet. Hier lässt sich nicht absehen, wie durch die gleichzeitige Wirkung der beiden Katalysatoren (z. B. Cupriion und Ferriion) so sehr viel grössere Mengen der reaktionsfähigen Ionen gebildet werden sollen, als diese einzeln bilden können.

Man wird also auch von dieser Theorie sagen können, dass sie einige Katalysen, aber keineswegs alle wird deuten können.

Einen verwickelteren Fall katalytischer Erscheinungen bilden solche Vorgänge, wo die an der Reaktion beteiligten Stoffe selbst noch ausserdem katalytisch wirken. Ich will von den hier vorhandenen Möglichkeiten der Autokatalyse nur den Fall erwähnen, dass durch die Reaktion selbst ein Beschleuniger entsteht. Dies tritt beispielsweise bei einer der bekanntesten Reaktionen, der Auflösung der Metalle in Salpetersäure, ein. Die hierbei entstehende salpetrige Säure beschleunigt in hohem Grade die Geschwindigkeit der Einwirkung der Salpetersäure, und dadurch kommt folgende Erscheinung zu stande.

Wird das Metall in die reine Säure gebracht, so beginnt die Reaktion äusserst langsam. In dem Masse, wie sie fortschreitet, wird sie schneller, und schliesslich stürmisch. Ist diese Periode vorüber, so verlangsamt sich der Prozess und endet mit einer gegen Null konvergierenden Geschwindigkeit.

Dieses steht in auffallendem Widerspruche mit dem gewöhnlichen Verlauf der Reaktionen, die mit der grössten Geschwindigkeit beginnen und wegen des allmählichen Verbrauches der wirkenden Stoffe immer langsamer werden.

Hier drängen sich die physiologischen Analogien unwiderstehlich auf; es ist eine typische Fiebererscheinung. Und noch eine andere wichtige physiologische Thatsache lässt sich

auf gleichem Wege illustrieren: die Gewöhnung und das Gedächtnis. Ich habe hier zwei Proben derselben Salpetersäure, die nur dadurch verschieden sind, dass ich in der einen vorher ein Stückchen Kupfer aufgelöst habe. Ich bringe zwei gleiche Kupferbleche in die beiden Säuren, die in demselben Wassergefäss stehen, damit sie die gleiche Temperatur haben. Alsbald sehen Sie, dass die Säure, welche schon einmal Kupfer gelöst hatte, sich an diese Arbeit „gewöhnt" hat und sie sehr geschickt und geschwind auszuführen beginnt, während die ungeübte Säure mit dem Kupfer nichts anzufangen weiss und ihre Wirkung so träge und ungeschickt ausführt, dass wir sie nicht abwarten können. Dass es sich um eine Katalyse durch salpetrige Säure handelt, wird ersichtlich, wenn ich etwas Natriumnitrit zur trägen Säure füge: alsbald wird auch hier das Kupfer angegriffen und aufgelöst.

3. Heterogene Katalyse. Der bestbekannte Fall der heterogenen Katalyse ist die Wirkung des Platins auf verbrennliche Gasgemenge. Während früher die Erscheinungen am Knallgase im Vordergrunde des Interesses standen, ist gegenwärtig aus praktischen Gründen die Verbrennung des Schwefeldioxyds zu Trioxyd die wichtigste von allen geworden.

Auch in allen diesen Fällen handelt es sich wohl um Beschleunigungen langsamer Reaktionen, wenn auch zugegeben werden muss, dass beispielsweise beim Knallgase noch keine Wasserbildung bei gewöhnlicher Temperatur ohne Katalysator nachgewiesen worden ist.

Aber die Stetigkeit bei der Änderung der Geschwindigkeit mit der Temperatur berechtigt uns hier zu der Vermutung, dass thatsächlich eine sehr kleine Reaktionsgeschwindigkeit auch bei gewöhnlicher Temperatur stattfindet. Dass sie so besonders klein ist, entspricht der allgemeinen Thatsache, dass alle Gasreaktionen verhältnismässig sehr langsam stattfinden.

Diese wichtige Thatsache tritt z. B. deutlich bei den Versuchen von Berthelot und Péan de St. Gilles hervor. Es wurde die Esterbildung aus Säure und Alkohol bei geicher Temperatur in zwei Versuchen verglichen, wo einerseits die Stoffe flüssig, andererseits dampfförmig waren. Wenn auch die Versuche keine genaue Berechnung gestatten, ob die Verlangsamung durch die starke Verminderung der Konzentrationen vollständig erklärbar ist, oder ob sie (was wahrscheinlicher ist) noch mehr austrägt, kommt nicht in Frage; es genügt zu wissen, dass durch den Übergang in Dampfgehalt die Reaktionsgeschwindigkeit etwa auf den 1000sten Teil herabgedrückt wurde.

Hierauf kann man nun eine Theorie der eben erwähnten Beschleunigungen gründen, deren Grundlagen mir von Dr. Bodenstein angegeben worden sind. Denken wir uns, dass aus dem gasförmigen Gebilde bei der vorhandenen Temperatur ein Teil in den flüssigen Zustand versetzt wird oder eine diesem Zustande entsprechende Dichte annimmt, so wird in diesem Teile die Reaktion entsprechend schneller stattfinden, und die flüssigen Anteile der Ausgangsstoffe werden sich in die Endprodukte verwandeln. Ist nun die verflüssigende oder verdichtende Ursache von der Beschaffenheit, dass sie nach dem Verbrauch des ersten verdichteten Teils neue Mengen der Ausgangsstoffe verdichtet, so werden auch diese schnell reagieren, und so fort; das Ergebnis ist eine Beschleunigung der Reaktion. Eine solche Wirkung seitens des Platins auf die Gase ist ganz wohl möglich.

Ich möchte auch mit dieser Darlegung nicht behaupten, dass die Platinkatalysen wirklich auf solche Weise erfolgen, sondern nur eine Möglichkeit betonen, wie sie stattfinden können. Wir hätten dann hier den einfachsten und reinsten Fall der beschleunigenden Zwischenreaktion, auf den ich bereits früher hingewiesen habe.

Wie Prof. Bredig mir jüngst mündlich dargelegt hat, lässt sich an einem flüssigen Mittel, in welchem kleine Massen einer anderen Flüssigkeit suspendiert sind, der Mechanismus einer solchen Beschleunigung erläutern. Wenn diese suspendierte Flüssigkeit die Eigenschaft hat, dass in ihr die Reaktion der vorhandenen Stoffe schneller stattfindet als in der Hauptmasse, so würden zunächst die dort befindlichen Anteile der Reagentien sich umwandeln. Es würde das Produkt in die äussere Flüssigkeit hinausdiffundieren, und ebenso würden neue Mengen der Reagentien hineintreten, da durch die Diffusion die Konzentrationen der verschiedenen Stoffe immer wieder ausgeglichen werden. Es würde hierdurch nacheinander die ganze Menge der Reagentien den Weg durch die suspendierte Flüssigkeit nehmen und dort reagieren; das Ergebnis ist eine Beschleunigung der Reaktion.

Was hier dargelegt wurde, lässt sich nach Bredig vielleicht auch auf den Fall anwenden, dass der Katalysator im kolloidalen Zustande in der Flüssigkeit vorhanden ist. Bekanntlich hat Prof. Bredig mit seinen Schülern in einer Reihe ausgezeichneter Arbeiten die mannigfaltigen und energischen katalytischen Wirkungen gezeigt und gemessen, welche das von ihm hergestellte kolloidale Platin und andere kolloidale Metalle ausüben können. Auch hat er wiederholt betont, dass die natürlich vorkommenden, so überaus wirksamen Katalysatoren, die Enzyme, sich gleichfalls immer im Zustande kolloidaler Lösung oder Suspension befinden.

Auch diese Betrachtungen haben keinen anderen Anspruch, als den, experimentell prüf-

bare Vermutungen zu sein. Ich möchte aber nicht unterlassen, Ihre Aufmerksamkeit darauf zu lenken, dass erst die Auffassung der Katalysatoren als Beschleuniger es ermöglicht hat, überhaupt solche wissenschaftlich prüfbare Vermutungen aufzustellen. Man versuche einmal, Ähnliches mittels Molekularschwingungen zu erreichen.

4. Die Enzyme. Dass die Verzuckerung der Stärke durch Säuren der durch Malzauszug an die Seite zu stellen ist, war für Berzelius keinem Zweifel unterworfen. Die gleiche Auffassung hatten Payen und Persoz, welche den wirksamen Stoff, die Diastase, isolierten, oder wenigstens in konzentrierter Gestalt herstellten. Das gleiche gilt für Liebig und Wöhler, die in einer ausgezeichneten Arbeit die Zersetzung des Amygdalins unter dem katalytischen Einflusse des Emulsins studierten.

Auch haben die neueren Untersuchungen über die Gesetze der Enzymwirkungen meines Erachtens nicht ergeben, was irgend einen grundsätzlichen Unterschied zwischen beiden Arten der Wirkung aufzustellen Veranlassung gäbe. Im Gegenteil, die bereits erwähnten Arbeiten Bredigs haben weit eingehendere Übereinstimmungen erkennen lassen, als sich vermuten liess.

Wir werden also in den Enzymen Katalysatoren sehen, welche im Organismus während des Lebens der Zellen entstehen und durch deren Wirkung das Lebewesen den grössten Teil seiner chemischen Aufgaben erledigt. Nicht nur Verdauung und Assimilation wird von Anfang bis zu Ende durch Enzyme geregelt, auch die fundamentale Lebensthätigkeit der meisten Organismen, die Beschaffung der erforderlichen chemischen Energie durch Verbrennung auf Kosten des Luftsauerstoffes, erfolgt unter entscheidender Mitwirkung von Enzymen und wäre ohne diese unmöglich. Denn der freie Sauerstoff ist, wie bekannt, ein sehr träger Stoff bei den Temperaturen der Organismen, und ohne Beschleunigung seiner Reaktionsgeschwindigkeit wäre die Erhaltung des Lebens unmöglich.

Schon Berzelius hat auf die entscheidende Bedeutung hingewiesen, welche den Enzymen im Haushalte der Lebewesen zukommt. In der That, stellen wir die grundsätzliche Frage, was das physiko-chemische Kennzeichen der Lebenserscheinungen ist, so wird die Antwort sein: eine selbstthätig geregelte Beschaffung und Verwendung der chemischen Energie für die Bethätigung, Erhaltung und Vermehrung des Lebewesens. Nun haben wir drei verschiedene Mittel, die chemische Reaktionsgeschwindigkeit zu beeinflussen: die Temperatur, die Konzentration und die Katalyse. Von diesen dreien ist die erste für den Organismus nicht beliebig einstellbar; ja, wir sehen, dass die höheren Tiere, denen besonders verwickelte und fein geregelte Leistungen obliegen, sich von diesem Einflusse ganz frei machen, indem sie thermostatische Vorrichtungen ausbilden, mittels deren sie ihre Körpertemperatur innerhalb enger Grenzen konstant erhalten können. Die Konzentrationen sind vielfach durch die Löslichkeit der Stoffe begrenzt; es bleibt als überall anwendbares Mittel zur Regelung der Reaktionsgeschwindigkeiten nur noch die Anwendung von Katalysatoren übrig, welche allerdings die Aufgabe mit idealer Vollkommenheit zu lösen gestatten.

Ich darf mich in diese physiologischen Fragen nicht vertiefen, wollte aber nicht unterlassen, auf die allgemeine Bedeutung der Katalyse nach dieser Richtung hinzuweisen. Dies scheint mir gerade zu unserer Zeit besonders notwendig. Da die älteren Kenntnisse und Begriffe der Chemie, die sich wesentlich auf die Herstellung und die systematischen und genetischen Zusammenhänge der Stoffe bezogen, und die Gesetze des Gleichgewichts und der Umwandlung derselben ausser Betracht liessen, für die Erklärung der physiologischen Erscheinungen sich vielfach als unzulänglich erwiesen haben, so macht sich jetzt eine Auffassung geltend, als sei die Chemie und Physik überhaupt ausser stande, zur Lösung des Rätsels vom Leben etwas Entscheidendes beizutragen. Hiergegen möchte ich mit allem Nachdruck darauf hinweisen, dass die physikalische oder allgemeine Chemie, in deren Gebiet diese Fragen zum allergrössten Teile fallen, eine sehr junge Wissenschaft ist. Diejenigen von Ihnen, welche 1892 die Heidelberger Naturforscherversammlung besucht haben, werden sich erinnern, dass sie sozusagen damals zum ersten Male als eben erwachsenes Fräulein an die Öffentlichkeit trat. Bisher hat sie noch so viel im eigenen Hause zu thun gefunden, dass ihre Bethätigung in den Nachbargebieten nur selten hat erfolgen können; auch darf nicht verschwiegen werden, dass manche unberufene Hand die hier vorhandenen Früchte hat pflücken wollen, ohne Verständnis, wie man mit ihnen umzugehen hat. Es ist meine volle, wiederholt ausgesprochene, wissenschaftliche Überzeugung, dass durch die neueren Fortschritte der Chemie der Physiologie eine Entwickelung bevorsteht, welche an Bedeutung der nichts nachgeben wird, welche Liebig seinerzeit durch die erste systematische Anwendung der chemischen Wissenschaft bewirkt hat.

Was nun die Eigenschaften der Enzyme anlangt, so sind diese bisher vorwiegend qualitativ untersucht worden. Die quantitative Arbeit stösst auf grosse Schwierigkeiten, die in der Veränderlichkeit dieser Stoffe liegen, die meist mit dem Verluste der katalytischen Wirkung verbunden ist. Die bisher untersuchten

Enzyme zeigen im wesentlichen die chemischen Eigenschaften der Eiweissstoffe, doch sind über die Frage nach ihrer chemischen Natur die Akten noch keineswegs geschlossen. Ich möchte meine Überzeugung dahin aussprechen, dass bei eingehenderer Forschung Übergänge zwischen den eiweissartigen Produkten, an denen bisher Enzymwirkungen nachgewiesen worden sind, und den einfacher zusammengesetzten Stoffen der organischen Chemie sich werden finden lassen. So scheint beispielsweise die katalytische Beschleunigung gewisser Oxydationswirkungen, welche dem Hämoglobin eigen ist, auch in den eiweissfreien Abkömmlingen, insbesondere im Hämatin, noch erhalten zu sein, und eine Verfolgung dieser Verhältnisse in den Abbauprodukten des Blutfarbstoffes wäre von nicht geringem Interesse.

In den wenigen Fällen, in denen der Geschwindigkeitsverlauf einer Enzymwirkung einigermassen einwandfrei studiert worden ist, haben sich widersprechende Resultate gezeigt; während die einen Autoren eine weitgehende Übereinstimmung mit den einfachen Gesetzen gefunden haben, die für die anorganischen Katalysatoren gültig sind, konstatierten die anderen Abweichungen. Einer mir vorliegenden, noch unveröffentlichten Untersuchung, der ich ein grosses Zutrauen zu schenken geneigt bin, entnehme ich, dass in der That das Zeitgesetz der Enzymwirkung von dem einfachsten Schema der Reaktionsgeschwindigkeit abweicht; doch ist auch diese Frage noch keineswegs spruchreif.

Die Frage nach dem Umfange der Stoffe, welche durch ein gegebenes Enzym nach einem gewissen Schema verändert (z. B. hydrolytisch gespalten) werden, ist gleichfalls erst in ihren Anfangsstadien begriffen und es scheinen hier ähnliche Mannigfaltigkeiten vorzuliegen, wie bei den anderen Katalysatoren. Die schönen Untersuchungen von E. Fischer haben gezeigt, dass gelegentlich sehr geringe Verschiedenheiten, welche die heutige Chemie als stereochemische deutet, Verschiedenheiten in der Wirkung eines gegebenen Enzyms verursachen können. Ob dies mit einer etwaigen asymmetrischen Beschaffenheit des Enzyms selbst zusammenhängt, oder auf anderen Gründen beruht, scheint mir noch nicht unzweideutig entschieden zu sein.

Meine Herren! Ich muss zum Schlusse eilen. Ich habe Ihnen nicht einigermassen abgerundete Ergebnisse eines wohluntersuchten Gebietes vorlegen können, sondern habe meine Aufgabe darin suchen müssen, Ihnen weite Gebiete fruchtbaren Landes zu weisen, das nur hier und da die ersten Anfänge systematischer Bebauung zeigt, dessen Fruchtbarkeit und Wichtigkeit aber bereits ausserhalb jedes Zweifels steht. Lag dieses Land auch ausserhalb der Gebiete, in denen die Chemie der Vergangenheit sich heimisch fühlte, so hat unsere rastlos vorwärtsstrebende Wissenschaft doch jetzt schon begonnen, mit ihren neuen Geräten den neuen Acker fruchtbar zu machen. Dass es nicht nur das chemisch-wissenschaftliche Interesse ist, welches hier die Arbeit dankbar macht, glaube ich Ihnen am Beispiel der physiologischen Anwendungen bereits gezeigt zu haben. Dass aber auch in technischer Beziehung die wissenschaftliche Kenntnis und Beherrschung der katalytischen Erscheinungen unabsehbare Folgen haben muss, tritt schon jetzt bei der mehr zufälligen Anwendung dieses Hilfsmittels hervor. Der letzte grosse Triumph der deutschen technischen Chemie, die Synthese des Indigos, welche eben die wirtschaftlichen Verhältnisse ganzer Länder umgestaltet, enthält als einen wesentlichen Faktor eine neue Katalyse; die Oxydation des Naphtalins durch Schwefelsäure lässt sich nur bei Gegenwart von Quecksilber genügend schnell und glatt durchführen. Dass die Schwefelsäure selbst sowohl nach dem alten wie dem neuen Verfahren auf katalytischem Wege gewonnen wird, brauche ich nur zu erwähnen. Überlegt man, dass die Beschleunigung der Reaktionen durch katalytische Mittel ohne Aufwand von Energie, also in solchem Sinne gratis vor sich geht und dass in aller Technik, also auch in der chemischen, Zeit Geld ist, so sehen Sie, dass die systematische Benutzung katalytischer Hilfsmittel die tiefgehendsten Umwandlungen in der Technik erwarten lässt.

Meine Herren! Erlauben Sie mir, mit einer persönlichen Erinnerung zu schliessen. Als vor vier Jahren das Leipziger physikalisch-chemische Institut in sein schönes, neues Heim übersiedelte, ging ich nicht ohne Sorge der neuen Periode entgegen. Die eben abgeschlossene war so fruchtbar gewesen. Grosse Gebiete, wie die chemische Dynamik und die Elektrochemie, hatten grundsätzliche Förderungen erfahren, und es schien, als sollte für das neue Heim an Stelle der frischfröhlichen Eroberungszüge ins neue Land nur noch die nüchterne Aufgabe der Durcharbeitung des Gewonnenen übrig bleiben. Da sagte ich mir: ein Stückchen Urwald wenigstens müssen wir haben, und die Lust des Vordringens ins möglichst Unbekannte wollen wir um keinen Preis missen. Und von allen Richtungen, die wir zu diesem Zwecke einschlagen konnten, schien mir keine dankbarer und hoffnungsreicher als die Katalyse. Ich hoffe auch Sie, meine Herren, überzeugt zu haben, dass ich mich in dieser Wahl nicht getäuscht hatte.

(Eingegangen 21. Oktober 1901.)

# ZUSAMMENFASSENDE BEARBEITUNGEN.

## Der Schiffskompass.

Von H. Meldau in Bremen.

Jahrhunderte lang nach seiner Erfindung ist der Schiffskompass ein höchst einfaches Instrument geblieben. Sein Hauptbestandteil, die Kompassrose, wurde aus einer Pappscheibe verfertigt, die auf ihrer Oberfläche mit der Kompassstrichteilung (Windrose) versehen war, während sich unter der Scheibe eine einfache ovale an den Enden zugespitzte Magnetnadel befand. In einer Durchbohrung im Mittelpunkte der Scheibe war ein aus Messing verfertigtes Hütchen eingeschraubt, mit dem die Rose auf einer Messingspitze, der Pinne, ruhte. Um die Rose vor Wind und Wetter zu schützen, war sie in einen hölzernen mit einer Glasplatte bedeckten Kompasskessel eingeschlossen, der mitschiffs aufgestellt und durch kardanische Aufhängung möglichst den schwankenden Bewegungen des Schiffes entzogen wurde. Ein vorn an der inneren Wand des Kompasskessels angebrachter Steuerstrich zeigte den gesteuerten Kurs an der Rosenteilung an.

In dieser einfachen Gestalt hat der Kompass den Seefahrern Jahrhunderte lang unschätzbare Dienste geleistet. Erst das neunzehnte Jahrhundert hat durchgreifende Verbesserungen an ihm vorgenommen und hat insbesondere an die Stelle der alten primitiven Kompassrose ein physikalisch wohl durchdachtes System mit sorgfältig gegeneinander abgewogenen mechanischen und magnetischen Eigenschaften gesetzt.

Unter den Forderungen, die an einen brauchbaren Schiffskompass gestellt werden müssen, stehen das Einstellungsvermögen und die Ruhe der Rose in erster Linie.

Um die äusseren Bedingungen, denen die Rose an Bord unterworfen ist, möglichst günstig zu gestalten, hat man zunächst die kardanische Aufhängung zu verbessern gesucht. Statt cylindrischer Zapfen verwendet man zum Aufhängen des Kompasskessels stumpfe Schneiden oder Lager mit Friktionsrollen. Erschütterungen des Schiffskörpers, wie sie auf Dampfern durch das Arbeiten der Maschine, auf Kriegsschiffen auch durch das Abfeuern der Geschütze entstehen, sucht man nach W. Thomsons Vorschlage dadurch von der Rose fernzuhalten, dass man den mittleren Ring der Aufhängevorrichtung aus einem Bündel zusammengedrehter Messingdrähte herstellt und an diesem elastischen Ringe den Kessel an kurzen Ketten aufhängt. Der aus Messing oder Kupfer verfertigte starkwandige Kompasskessel ist am Boden beschwert, um eine sichere Einstellung in die Vertikale zu verbürgen.[1] Die Spitze der Pinne wird genau in den Schnittpunkt der Drehungsachsen der kardanischen Aufhängevorrichtung verlegt, so dass sie trotz etwaiger Pendelschwingungen des Kessels relativ in Ruhe bleibt. Damit die horizontale Lage der Rose selbst in allen magnetischen Breiten gewahrt bleibt, ist der Schwerpunkt der Rose hinreichend unter den Aufhängepunkt versenkt.[2]

Das Einstellungsvermögen der Rose ist proportional ihrer Richtkraft und umgekehrt proportional der zwischen Hütchen und Pinne stattfindenden Reibung, die für Trockenkompasse proportional dem Gesamtgewicht der Rose gesetzt werden kann. Bezeichnet $M$ das magnetische Moment, $\lambda$ das Verhältnis der mittleren an Bord nach magnetisch Nord wirkenden Komponente zur Horizontalintensität $H$ des Erdmagnetismus und $G$ das Gewicht der Rose, so ist das Einstellungsvermögen durch den Ausdruck gegeben:

$$E = f \cdot \frac{M \cdot \lambda \cdot H}{G}.$$

Da $\lambda$ immer kleiner als 1 ist[3]), so muss gefordert werden, dass sich die Rose an einem eisenfreien Orte bei mittlerem Werte der Horizontalkraft auf $0{,}1^0$ bis $0{,}2^0$ genau einstellt.

Um den Faktor $f$ möglichst klein zu machen, wendet man als Hütchen polierte Edelsteine, als Pinnen Iridium- oder gehärtete Stahlspitzen an. Der Faktor ist natürlich um so kleiner, je spitzer die Pinne angeschliffen ist. Hierbei ist aber gehörige Rücksicht auf das Gewicht der Rose zu nehmen; je grösser dieses ist, um so stumpfer muss die Pinne gehalten werden, um bei den Erschütterungen des Schiffes ein Einbohren der Spitze in das Hütchen zu verhindern.

Ein ungenügendes magnetisches Moment war in früheren Zeiten der Hauptfehler, über den die Seeleute bei ihren Kompassen zu klagen hatten. Gegenwärtig macht die Herstellung von guten Nadeln mit ausserordentlich konstantem Magnetismus keine Schwierigkeit, so dass der Erzielung eines fast beliebig grossen magnetischen Momentes praktisch nichts im Wege steht. Allerdings ist bei gegebener Form des Magnetsystems und gegebener Stahlsorte eine Vergrösserung des magnetischen Momentes

1) Der Thomsonsche Kompasskessel ist mit einem Doppelboden versehen, dessen Raum zur Mässigung der Pendelbewegungen des Kessels mit Castoröl nahezu ausgefüllt ist.

2) Nur die älteren Rosen haben Laufgewichte.

3) Auf Kauffahrteischiffen hat $\lambda$ gewöhnlich einen Wert zwischen 0,8 und 0,9; auf Kriegsschiffen sinkt $\lambda$, zumal in Panzertürmen, nicht selten bis 0,3.

immer mit einer Vergrösserung des Gewichtes verbunden, so dass die Aufgabe ist, nicht sowohl $M$, als vielmehr den Quotienten $\frac{M}{G}$ zu einem Maximum zu machen. Bei der Lösung dieser Aufgabe ist übrigens im Auge zu behalten, dass bei grösserem Gewichte eine raschere Abnutzung von Stein und Pinne stattfindet, so dass bei schweren Rosen ein weit grösseres $\frac{M}{G}$ vorhanden sein muss, als bei leichteren. Ferner ist bei der Auswahl des Magnetsystems auf die Kompensation des Kompasses Rücksicht zu nehmen. Je kleiner die Nadeln sind, um so weniger ist das Auftreten sextantaler und oktantaler Deviationen beim Anbringen von Magneten und weichen Eisenmassen in der Nähe des Kompasses zu befürchten.[1]) Auch werden durch Rosen mit grossem magnetischen Moment in den zur Kompensation benutzen weichen Eisenmassen leicht Pole erzeugt, die eine für alle magnetischen Breiten exakte Beseitigung der quadrantalen Deviation vereiteln. Endlich ist die Grösse des magnetischen Momentes von entscheidendem Einfluss auf die Ruhe der Rose. Während man lange Zeit der Meinung gewesen war, dass ein Kompass um so besser arbeiten müsse, ein je grösseres Moment die Rose besitze, ist erst von W. Thomson darauf hingewiesen worden, dass mit der Vergrösserung des magnetischen Momentes die Schwingungsdauer abnimmt und die Bewegungen der Rose deshalb lebhafter und unruhiger werden.

Eine ganze Reihe von Gründen vereinigen sich demnach, für die Rose eines Schiffskompasses keineswegs ein möglichst grosses magnetisches Moment wünschenswert erscheinen zu lassen. Im Gegenteil hat man danach zu streben, mit einem möglichst geringen Momente auszukommen unter gleichzeitiger Wahrung eines genügenden Einstellungsvermögens durch Verringerung des Gewichtes der Rose. Unter eine gewisse Grenze darf man allerdings mit dem magnetischen Momente nicht gehen, auch wenn man dabei einen günstigen Wert von $\frac{M}{G}$ erzielen könnte, weil das Einstellungsvermögen bei Verunreinigung des Hütchens oder der Pinne durch Staub und dergl. um so leichter leidet, je geringer das magnetische Moment an und für sich ist.

Die Ruhe der Kompassrose wird an Bord durch mechanische und magnetische Ursachen gefährdet. Da der Schwerpunkt der Rose wegen der Vertikalkomponente der erdmagnetischen Kraft im allgemeinen nicht genau unter dem Unterstützungspunkte liegt, so erfährt die Rose beim Schlingern des Schiffes auf allen Kursen ausser den Kompasskursen O und W ein mehr oder minder grosses Drehungsmoment. Ferner ist, wenn bei Erschütterungen des Schiffes die Rose auf der Pinne tanzt, die Möglichkeit gegeben, dass excentrische Stösse auf die Rose von seiten der Pinne ausgeübt werden. In vielen Fällen hat man ausserdem mit einem Krängungsfehler zu rechnen. Ist am Kompassorte eine vom Schiffe herrührende, senkrecht zum Deck wirkende magnetische Kraft vorhanden, die beim Schlingern des Fahrzeuges bald eine Komponente nach der einen, bald eine solche nach der anderen Seite erzeugt, so ist dadurch die Ruhe der Rose aufs ernstlichste in Frage gestellt. Endlich kann die Rose bei schnellen Kursänderungen auch dadurch in Schwingungen geraten, dass ihre Gleichgewichtslage selbst wegen der veränderten Wirkung der Schiffskräfte eine andere geworden ist.

Die Ruhe der Rose ist Jahrhunderte lang das grosse Geheimnis der Konstruktion des Schiffskompasses gewesen. Viele Erfindungen, besonders um die Mitte des vorigen Jahrhunderts, beschäftigten sich mit der Lösung dieses Problems. Man liess beispielsweise kleine Gewichte vom Kompassdeckel herabhängen, die bei heftigen Bewegungen auf dem Rosenblatte gleiten sollten, oder man brachte unterhalb des Hütchens einen Ring an, der gegebenen Falls am Rosenträger schleifen und so als Bremse wirken sollte u. a. m. Der biedere Seemann suchte sich in seiner Not wohl dadurch zu helfen, dass er die Pinne mit einem Hammer bearbeitete oder gar das Hütchen mit Ziegelsteinmehl füllte. Im günstigsten Falle beschränkte man sich darauf, das Gewicht der Rose durch aufgelegte Bleistücke oder starke Ringe von geringem Durchmesser zu vergrössern oder man wandte bei schlechtem Wetter besondere schwere „Sturmrosen" an: immer war es die Vermehrung der Reibung, wodurch man die allzu lebhafte Rose zügeln zu können hoffte.

Erst durch W. Thomson wurde dieser Irrtum zerstört; er zeigte, dass durch Vergrösserung der Reibung nicht Ruhe, sondern im Gegenteil Unstetigkeit erzeugt wird, und dass für die Ruhe der Rose durchaus nicht ihr Gewicht, sondern ihre Schwingungsdauer massgebend ist. Es kommt darauf an, die Schwingungsdauer der Rose erheblich grösser zu machen als diejenige des Schiffes, die im allgemeinen 14 bis 18 Sekunden nicht übersteigt.

Ist eine Kompassrose in Schwingungen geraten, so kommt für die Abnahme der Schwingungsbögen ausser der Reibung an der Pinne fast nur der Luftwiderstand in Frage, eine Dämpfung durch induzierte Ströme in den Kesselwandungen ist wohl bei älteren Rosen mit

1) Über die geometrische Gestalt des Magnetsystems wird noch weiter unten die Rede sein.

grossem magnetischen Moment bemerkbar, für die neueren Rosen lässt sie sich jedoch nicht mehr nachweisen. Wenn trotzdem für diese Rosen das logarithmische Dekrement grösser ist als für jene, so liegt der Grund ohne Zweifel in der im Verhältnis zum magnetischen Moment viel beträchtlicheren Luftreibung.

Bisher war von den Drehungen der Rose um ihre Hauptachse die Rede; an Bord ist die Rose aber auch Impulsen zu Drehungen um horizontale Achsen ausgesetzt. Um die aus ihnen resultierenden Bewegungen möglichst zu beschränken und einfach zu gestalten, ist es wünschenswert, das Trägheitsmoment um diese Achsen gleich und möglichst gross zu machen. Es geschieht dies nach einem schon vor langer Zeit von Arch. Smith für die Normalrose der britischen Admiralität gemachten Vorschlage durch Anwendung mehrerer Magnetnadeln statt einer einzigen. Die einfachste Anordnung ist die, dass man zwei Nadeln mit ihren Enden je $30^0$ vom Nord- und Südpunkte der Rosenteilung anbringt. In derselben Absicht hat man neuerdings auch sogen. Zirkelrosen konstruiert, bei denen kreisförmig gebogene Nadeln angewendet werden, deren Enden durch ein kurzes Messingstück getrennt sind. Die Inkonstanz der magnetischen Achse ist jedoch ein Grund gegen die Verwendung derartiger Magnetsysteme.

Der Hauptgesichtspunkt für die Bestimmung der geometrischen Gestalt des Magnetsystems ergiebt sich daraus, dass sich die Rose äusseren magnetischen Kräften gegenüber wie eine unendlich kleine Nadel verhalten soll. Die Notwendigkeit dieser Rücksichtnahme zeigte sich in eklatanter Weise im Jahre 1860 bei der Kompensation der Kompasse des berühmten „Great Eastern". Nach Ausführung der Kompensation blieben Deviationen zurück im Betrage von $4^0$ bis $5^0$, die sich ausserordentlich schnell mit dem Kurswinkel änderten und deshalb sehr lästig waren. Die von Archibald Smith veranlasste theoretische und experimentelle Untersuchung lieferte den Nachweis, dass der Grund in der im Vergleich zur Entfernung der Kompensationsmittel nicht zu vernachlässigenden Nadellänge zu suchen sei. Gleichzeitig wurde gezeigt, wie man die beobachteten Störungen des normalen Verlaufes der Deviation durch Anwendung einer Mehrzahl von Nadeln vermeiden kann.[1])

Die mannigfachen an die Kompassrose zu stellenden Forderungen lassen sich nur durch sorgfältigen Ausgleich ihrer physikalischen Eigenschaften erfüllen. Es ist bekannt, dass W. Thomson nicht nur die wichtigsten theoretischen Grundsätze für die Konstruktion zuerst aufgestellt, sondern auch — nach dreijährigen Versuchen im Laboratorium und auf seiner Yacht — eine vorzügliche Lösung des Problemes gegeben hat, indem er den Rosenkörper aus Seidenfäden herstellte und das Trägheitsmoment der nur 13 g schweren Rose durch Verlegung der Massen an den Rand ausserordentlich gross machte. Von einer kleinen im Mittelpunkte befindlichen Aluminiumscheibe sind in gleichmässigen Zwischenräumen 32 Seidenfäden nach einem leichten Aluminiumringe von 25 cm Durchmesser gespannt. An diesen Ring ist das aus leichter Pausleinewand verfertigte Rosenblatt geklebt; der ganze mittlere Teil dieses Blattes ist herausgeschnitten, und es ist nur soviel stehen geblieben, als für eine deutliche Einteilung nach Strichen und Graden nötig ist. Die mittlere Scheibe ist durchbohrt und ruht auf dem Rande eines Hütchens, das mit einer Edelsteinkuppe versehen ist und mit dieser auf der fein angeschliffenen Pinne ruht. Das Magnetsystem der Rose besteht aus acht kleinen, vergoldeten, 5 bis 8 cm langen Nadeln, die durch Seidenfäden unter sich und mit dem Aluminiumringe verbunden sind. Zum Vergleich der Thomsonschen Rose mit der Normalrose der britischen Admiralität mögen hier die folgenden Zahlen als ungefähre Mittelwerte der für beide Rosenarten gültigen Daten angeführt werden:

| | Normalrose | Thomsonsche Rose |
|---|---|---|
| Durchmesser . . . . . | 200 mm | 250 mm |
| Gewicht . . . . . . . | 120 g | 13 g |
| Länge der längsten Nadeln | 200 mm | 80 mm |
| Magnetisches Moment in Millionen G. E. . . . | 36 | 2,1 |
| Trägheitsmoment $T$ in Millionen G. E. . . . | 500 | 130 |
| $\frac{M}{G}$ . . . . . . . . . | 0,3 | 0,16 |
| $\frac{T}{G}$ . . . . . . . . . | 4,2 | 10 |
| Schwingungsdauer . . . | 18 Sek. | 38 Sek. |

Aus diesen Zahlen geht hervor, wie sehr die Thomsonsche Rose auch der besten der früher konstruierten Kompassrosen überlegen ist. Thatsächlich hat sie denn auch bald nach ihrer Erfindung (1878) die Rosen älterer Konstruktion nicht nur von den Schiffen der Handelsmarine, sondern auch von denen der Kriegsmarinen aller seefahrenden Völker verdrängt. Sie ist vorbildlich für alle seit jener Zeit von verschiedenen Mechanikern konstruierten Rosentypen geworden. Unter diesen ist besonders die von Hechelmann in Hamburg hergestellte Form bemerkenswert, bei der auch die Magnetnadeln zur Vergrösserung des Trägheitmomentes aus der Mitte fortgenommen und am äusseren Rande des Rosenblattes mit Seidenfäden parallel zur Nord-Südlinie aufgehängt sind.

Schon lange vor den grundlegenden Thom-

1) Phil. Trans. Roy. Soc. 1861.

sonschen Versuchen hat man die Ruhe der Rose auf einem anderen Wege mit Erfolg zu erreichen versucht, nämlich durch die Konstruktion der Fluid- oder Schwimmkompasse. Bei diesen Kompassen ist der Kessel ganz mit einer aus verdünntem Alkohol bestehenden Flüssigkeit angefüllt. Mit der Rose ist ein Schwimmer verbunden, durch den ihr Gewicht bis auf wenige Gramme aufgehoben wird. Da die Rose gezwungen ist, sich in der Flüssigkeit zu drehen, so erfolgen ihre Bewegungen sehr ruhig. Ausserdem wird die Rose durch die Erschütterungen des Schiffskörpers weniger beeinflusst, da der Kessel, die Flüssigkeit und die Rose diesen Erschütterungen gegenüber ein Ganzes bilden. Der Kompasskessel ist mit einer elastischen Wellblechkapsel oder einer sonstigen Vorrichtung zu versehen, um der starken Ausdehnung des Alkohols mit der Temperatur Rechnung zu tragen. Selbstverständlich müssen für die Rose eines Schwimmkompasses wegen der inneren Reibung der Flüssigkeit sehr viel stärkere Magnetsysteme zur Anwendung gebracht werden, als sie für Trockenkompasse nötig sind; man hat Fluidkompassrosen, deren magnetisches Moment 70 bis 80 Mill. G. E. beträgt. Für solche Kompasse lässt sich die Kompensation eines grösseren Betrages von quadrantaler Deviation durch weiche Eisenmassen nur unter Zuhilfenahme der Nadelinduktion erreichen, die Kompensation bleibt dann bei Veränderung der magnetischen Breite nicht exakt. Bei verschiedenen Kompasssystemen (Peichlscher Kompass, Kompensationskompass der Kaiserlichen Marine u. a.) sind weiche Eisenmassen zur Verstärkung der Richtkraft und gleichzeitig zur Kompensation der Quadrantaldeviation am Kompasskessel selbst, also innerhalb des Kardanringes angebracht. Die Einstellung dieser Eisenmassen kann an einer Skala abgelesen und bei Veränderung der magnetischen Breite der Änderung der Horizontalintensität entsprechend berichtigt werden. Die Beschreibung dieser Kompasse gehört jedoch nicht eigentlich zum vorliegenden Thema, sondern zum Kapitel der Kompensationsvorrichtungen.

(Eingegangen 13. Januar 1902.)

# BESPRECHUNGEN.

**H. W. Bakhuis Roozeboom, Die heterogenen Gleichgewichte vom Standpunkte der Phasenlehre.** 1. Heft: Die Phasenlehre. — Systeme aus einer Komponente. gr. 8°. XIII u. 221 S. mit 54 Abbildungen. Braunschweig, Friedrich Vieweg & Sohn. 1901. Mk. 5.50.

Das vorliegende Buch soll ein Gesamtbild vom jetzigen Stande unserer Kenntnisse über die Gleichgewichte in heterogenen Systemen geben. Als Ausgangspunkt und Führerin dient hierzu die Phasenlehre, welche der Verf. im Jahre 1887 zum ersten Male für eine Skizze der Klassifikation des chemischen und physikalischen Gleichgewichts benutzt hat. Über den Gegenstand besitzten wir bereits zwei Bücher, das kleine von Meyerhoffer (Wien 1893) und das etwas umfangreichere von Bancroft: The Phase Rule (Ithaca N. Y, 1897). Seitdem sind eine Reihe von Jahren vergangen, viel neues Material ist durch die Arbeit der physikalischen Chemiker zu Tage gefördert, so dass beide schon als veraltet betrachtet werden können.

Der Verf., dessen Arbeiten auf dem Gebiete der Phasenregel allgemein bekannt sein dürften, war wie kein anderer geeignet, das ganze Gebiet neu zu bearbeiten; es ist ihm auch in der That gelungen, ein in jeder Hinsicht brauchbares und gutes Buch zu schaffen. Nach einer Einleitung wird die Phasenlehre abgeleitet, wobei die mathematische Behandlung möglichst einfach gehalten ist. Den weiteren Inhalt des Buchs bildet die Besprechung der Systeme aus einer Komponente. Sehr zu loben ist die streng systematische Einteilung des ganzen Gebiets und die scharfe Kennzeichnung der verschiedenen Kategorien. Durch die ausgedehnte Verwertung der graphischen Darstellung werden die Verhältnisse auch demjenigen klar gemacht, dessen mathematische Kenntnisse noch grosse Lücken zeigen.

Das Buch kann in jeder Hinsicht dem, der sich eine Übersicht über dies Gebiet verschaffen will, auf das wärmste empfohlen werden.

G. C. Schmidt.

(Eingegangen 13. Dezember 1901.)

**F. Kohlrausch, Lehrbuch der praktischen Physik** (XVII und 610 S., Leipzig und Berlin 1901).

Aus Kohlrauschs Leitfaden der praktischen Physik ist in der neunten Auflage ein Lehrbuch der praktischen Physik geworden. Diese kleine Änderung der Tendenz ist durch die inzwischen erfolgte Abgliederung des kleinen Leitfadens gerechtfertigt und gipfelt in dem Ziele, für die Zwecke des Übungslaboratoriums die wohlbedachte Auswahl des kleinen Leitfadens zu

reservieren, mit dem Lehrbuche aber ein systematisches, möglichst vollständiges Spezialwerk über die physikalischen Messmethoden, Laboratoriumshilfsmittel und die Messpraxis zu schaffen. In einer deutschen physikalischen Zeitschrift ein Wort zu verlieren, in wie vollendeter Weise auch wieder diese neueste Auflage das geistige Handwerkszeug des experimentierenden Physikers darbietet, hiesse Eulen nach Athen tragen. Indes sei hervorgehoben, dass der Verf. mit bewundernswerter Elastizität und Sorgfalt eine Umarbeitung des Buches auf einheitlicher moderner Grundlage vorgenommen und das Material bis in die neuesten und intimsten Gebiete hinein reich ergänzt hat. Das erstere kommt namentlich in dem gegenwärtig am meisten fluktuierenden Gebiete der Physik, der Elektrizitätslehre, zum Ausdruck; als typisch für das Zweite seien aus vielem anderen heraus genannt die Kapitel: Über Wärmestrahlung und schwarze Strahlung, wo man zugleich eine knappe und klare Übersicht über die Gesetze der schwarzen Strahlung findet; Beziehungen der elektrischen Spannung zur Chemie der Lösungen; Messungen an Wechselströmen; Wechselstromdynamomaschinen; Transformatoren; elektrische Lampen; Geisslersche Röhren; Kathodenstrahlen, wo man ausser praktischen Winken die Grundlagen der modernen Kathodenstrahltheorie findet; Hertzsche Wellen (von Arons bearbeitet). Die Zahl der Tabellen ist von 39 auf 54 erweitert. Die Gesamtgruppierung des Stoffes ist in einigen Punkten wesentlich zweckmässiger gestaltet.

Alles in allem hat man den Eindruck, dass sich das Buch nachgerade asymptotisch der Linie nähert, über die hinaus es nicht mehr vervollkommnet werden kann. An der glanzvollen Entwickelung der deutschen Physikerschule hat das Kohlrauschsche Buch in allen seinen Auflagen einen schwerwiegenden Anteil gehabt. Mit der neuen Auflage und mit dem veränderten Namen wird es sicherlich dieser seiner schönen Mission treu bleiben und reichen Segen zu stiften fortfahren. H. Th. Simon.

(Eingegangen 6. Januar 1902.)

---

**K. Koppe, Anfangsgründe der Physik.** Ausgabe B, II. Teil, Hauptlehrgang. Kürzere Ausgabe: Grundriss der Physik, bearbeitet von A. Husmann. gr. 8. VIII und 360 Seiten mit 252 Holzschnitten und einer Sternkarte. Essen, G. D. Baedeker. 1902. Mk. 4.60

Das verdienstvolle, altbekannte Koppesche Lehrbuch hat in Husmann einen trefflichen Bearbeiter gefunden, der die gewiss nicht leichte Aufgabe gelöst hat, das mehr als 50 Jahre alte Werk für die Anforderungen der Jetztzeit zuzustutzen, ohne dessen Charakter ganz zu beseitigen. Die vorliegende gekürzte Ausgabe ist vorwiegend für gymnasiale Anstalten bestimmt. Dass in ihr kompliziertere Rechnungen aus dem Gebiete der Mechanik beseitigt wurden, kann dem Buche nur zum Vorteile gereichen.

Als ein wesentlicher Fortschritt ist die ziemlich ausgiebige Verwertung des Energieprinzipes zu begrüssen; vielleicht könnte bei einer späteren Ausgabe hier noch mehr geschehen. So ist z. B. eine Anwendung der Energiegesetze auf das Pendel zu vermissen. Wie leicht lassen sich auch die Formeln für das physische Pendel durch dieselben ableiten! — Wohl hat H. in einem Anhange die Wärme als Energieform eingeführt. Freilich wäre es viel zweckmässiger, die gesamte Wärmelehre von vornherein auf diese Begriffe aufzubauen; damit würde er den Unterricht jedenfalls sehr erheblich vertiefen.

Die Darstellung ist gewandt und durchweg klar; auch hinsichtlich der Anordnung des Stoffes bedürfte nur noch weniges einer Änderung. Sehr wünschenswert wäre es, wenn der Bearbeiter mehr Nachdruck auf Benutzung moderner experimenteller Hilfsmittel legte, vor allem aber speziellere Angaben über messende Versuche machte. Gerne würde man dagegen die alte, jetzt völlig gegenstandslos gewordene Wheatstonesche Messung der Elektrizitätsgeschwindigkeit in Stromleitern missen.

Auch die Elektrizitätslehre hat H. erfolgreich im modernen Sinne zu bearbeiten gewusst. In der That finden hier die wichtigsten neueren Entdeckungen ihre Erwähnung. Seltsam ist es aber, dass das Buch nichts über die Kraftlinien des elektrischen Stromes, insbesondere des Kreisstromes, bringt, die bekanntlich für das Verständnis der Induktion, der Anziehung von Strömen und der hierbei in Frage kommenden Energiegesetze von fundamentaler Bedeutung sind. Eine Angabe und Ableitung der wichtigsten Potenzial- und Kapazitätsformeln dürfte ebenfalls erwünscht sein. Behrendsen.

(Eingegangen 16. Januar 1902.)

---

**The British Optical Journal,** ed. Arthur C. Brookes. Monatlich ein Quartheft. Jährlich 5 sh., postfrei.

Vier vorliegende Lieferungen lassen die Tendenz der Zeitschrift erkennen: sie will den Kontakt zwischen Wissenschaft, optischer Industrie, Händler und Publikum herstellen; sie umfasst vorerst eine populäre Einleitung in die Optik von Drysdale, astronomische, nautische und mikroskopische Notizen, praktische Winke, Monatsberichte, Neuheiten und widmet besondere Aufmerksamkeit der physiologischen Optik und ihren Hilfsmitteln. Der Standpunkt ist durchaus populär, ohne darum den Ernst ver-

missen zu lassen. Ob die Parteinahme für Gordons Sturm gegen die Theorie Abbes angezeigt war, ist eine andere Frage; der Streit kann doch nur streng wissenschaftlich zum Austrag kommen. Wir werden vielleicht Gelegenheit haben, auf Gordons Abhandlung zurückzukommen, es sei nur erwähnt, dass Gordon die Grenze der Abbildung nichtselbstleuchtender Objekte nicht, wie Abbe, in der Lage der durch das Objekt verursachten Beugungsmaxima, welche die Apertur des Objektivs bedingt, sieht, sondern vielmehr allein in der Verundeutlichung des Objekts durch das Beugungsscheibchen, welches die Lichtwelle nach dem Durchgang durch das Objektiv liefert, was übrigens doch auch Abbesche Theorie ist. Das Journal schliesst sich dem in England erfolgreichen Zeitschriftentypus an, für welchen wir in Deutschland z. Z. keinen eigentlichen Vertreter haben. Die Ausstattung ist vornehm und geschmackvoll.

Englisch.

(Eingegangen 11. Januar 1902.)

## Eingegangene Schriften.

**(Eingehende Besprechung vorbehalten.)**

**van Bebber, W. J.**, Anleitung zur Aufstellung von Wettervorhersagen für alle Berufsklassen, insbesondere für Schule und Landwirtschaft gemeinverständlich bearbeitet. Mit 16 eingedruckten Abbildungen. gr. 8. VI u. 38 S. 1902. Braunschweig, Friedrich Vieweg & Sohn. M. —.60.

**Benischke, G.**, Elektrotechnik in Einzeldarstellungen.
Heft 1. Benischke, Gustav, Die Schutzvorrichtungen der Starkstromtechnik gegen atmosphärische Entladungen. Mit 43 eingedruckten Abbildungen. 8⁰. VIII u. 42 S.
Heft 2. — — Der Parallelbetrieb von Wechselstrommaschinen. Mit 43 eingedruckten Abbildungen. 8⁰. VIII u. 55 S. 1902. Braunschweig, Friedr. Vieweg & Sohn. Geheftet à M. 1,20, gebunden à M. 1,60.

**Elbs, Karl**, Übungsbeispiele für die elektrolytische Darstellung chemischer Präparate. Zum Gebrauch im Laboratorium für Chemiker und Elektrochemiker. Mit 8 Abb. im Text. gr. 8⁰. VIII u. 100 S. 1902. Halle a. S., Wilhelm Knapp. Gebunden M. 4,—.

**Emde, Fritz**, Die Arbeitsweise der Wechselstrommaschinen. Für Physiker, Maschineningenieure und Studenten der Elektrotechnik. Mit 32 in den Text gedruckten Figuren. 8. VIII u. 93 S. 1902. Berlin, Julius Springer. M. 2.40. Gebunden M. 3.—.

**Engelhardt, Viktor**, Die Elektrolyse des Wassers, ihre Durchführung und Anwendung. Monographien über angewandte Elektrochemie, I. Band. Mit 90 Figuren und 15 Tabellen im Text. gr. 8⁰. XII u. 117 S. 1902. Halle a. S., Wilhelm Knapp. M. 5,—.

**Friedrich, Otto**, Die elektrischen Atome und die spezifische Ladung der Ionen. Wissenschaftliche Beilage zum Jahresbericht des Städt. Gymnasiums i. E. mit Realschule zu Solingen. Mit 2 Tafeln. 4⁰. 32 S. 1902. Solingen, Druck von B. Boll.

**Gerber, Paul**, Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Gravitation. Programm des städtischen Realgymnasiums (in Umwandlung zur lateinlosen Realschule) zu Stargard in Pommern. 4⁰. 25 S. 1902. Stargard, F. Hendess.

**Guillaume, Ed. Ch.**, La convention du mètre et le bureau international des poids et mesures. Paris, Gauthiers-Villars.

**Koppe, K.**, Geometrie zum Gebrauch an höheren Unterrichtsanstalten vollständig neu bearbeitet von Jos. Diekmann. 19. Auflage. (3. Auflage der neuen Bearbeitung.) Mit 176 Figuren, 8 Figurentafeln und zahlreichen Übungen und Aufgaben. I. Teil: Planimetrie. Ausgabe für Gymnasien. 8⁰. VI u. 208 S. 1902. Essen, G. D. Baedeker, Gebunden M. 2.40.

**Musmacher, C.**, Kurze Biographien berühmter Physiker. kl. 8⁰. VIII u. 280 S. 1902. Freiburg in Br., Herdersche Verlagsbuchhandlung. M. 1,80. Gebunden M. 2,40.

**Scheffer, W.**, Das Mikroskop, seine Optik, Geschichte und Anwendung gemeinverständlich dargestellt. (Aus Natur und Geisteswelt. 35. Bändchen.) Mit 66 Abbildungen im Text und 1 Tafel. kl. 8⁰. V u. 114 S. 1902. Leipzig, B. G. Teubner. Gebunden M. 1,25.

**Travers, Morris W.**, The experimental study of gases, an account of the experimental methods invalued in the determination of the properties of gases, and of the more important reseaches connected with the subject. With an introductory preface by William Ramsay. Mit 132 Fig. gr. 8. XIII u. 323 S. 1901. London, Macmillian and Co. Gebunden 10 sh.

**Triepel**, Einführung in die Physikalische Anatomie. I. Teil: Allgemeine Elastizitäts- und Festigkeitslehre in elementarer Darstellung. II. Teil: Die Elastizität und Festigkeit der menschlichen Gewebe und Organe. Mit 23 Figuren im Text und 3 lithographierten Tafeln. gr. 8⁰. X u. 232 S. 1902. Wiesbaden, J. F. Bergmann. M. 6,—.

## Personalien.

**(Die Herausgeber bitten die Herren Fachgenossen, der Redaktion von eintretenden Änderungen möglichst bald Mitteilung zu machen.)**

Die Hilfslehrstelle für geodätische Fächer an der Technischen Hochschule zu Stuttgart ist dem Assistenten und Privatdozenten Hohenner von der Technischen Hochschule in München unter Verleihung des Professortitels übertragen worden.

Der a. o. Professor Dr. Paul am Chemischen Institut der Universität Tübingen hat einen Ruf nach Berlin als Direktor der chemischen Abteilung im Reichsgesundheitsamt erhalten.

Der a. o. Professor der darstellenden Geometrie an der Technischen Hochschule in Graz Dr. R. Schüssler wurde zum o. Professor, der a. o. Professor Dr. Johannes Thiele in München zum o. Professor an der Universität Strassburg und zum Direktor des chemischen Instituts, der bisherige a. o. Professor der chemischen Technologie Dr. Rose zum o. Professor ernannt.

Dem Privatdozenten der Chemie an der Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin Dr. Wilhelm Traube ist das Prädikat „Professor" beigelegt worden.

Baudirektor Professor v. Bach (Stuttgart) hat einen Ruf an die Wiener Technische Hochschule als Nachfolger des verstorbenen Professor Radiger abgelehnt.

## Gesuche.

# Physiker

mit 9 semestr. Studium an Universität und Techn. Hochschule, 2¼ jähr. elektrotechnischer Praxis **sucht eine Assistentenstelle** im In- oder Auslande. Nachrichten unter **C. G. S.** befördert die Exped. dieser Zeitschrift.

Für die Redaktion verantwortlich (i. V.) Dr. E. Bose in Göttingen. — Verlag von S. Hirzel in Leipzig.
Druck von August Pries in Leipzig.